



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학 박사 학위논문

실제적 관찰 및 실제적 조작을 지원하는 과학 시뮬레이션의 개발 사례 연구

A Case Study on Development of Science Simulations for
Authentic Observation and Authentic Manipulation

2019년 8월

서울대학교 대학원
과학교육과 화학전공
이 창 윤

실제적 관찰 및 실제적 조작을 지원하는 과학 시뮬레이션의 개발 사례 연구

지도교수 홍 훈 기

이 논문을 교육학 박사 학위논문으로 제출함

2019년 4월

서울대학교 대학원
과학교육과 화학전공
이 창 윤

교육학의 박사 학위논문을 인준함

2019년 7월

위 원 장 정 대 홍 (인)

부위원장 홍 훈 기 (인)

위 원 소 효 정 (인)

위 원 전 상 학 (인)

위 원 조 한 혁 (인)

국문초록

본 논문의 목적은 학생들에게 관찰 및 조작에 관한 학습경험을 제공하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 탐색하는 것이다. 이에, 사례연구방법으로써 ‘제안된 디자인’을 분석단위로 두고, 관찰 경험과 조작 경험을 지원하는 두 종류의 과학 시뮬레이션 개발사례에 주목하였다. 첫 번째 개발사례에서는 ‘앙금생성반응 실험’에 관한 과학 시뮬레이션의 개발 및 평가를 통해, 탐구실험에서 강조되어야 할 요소로서 관찰 경험을 제공하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 논의하였다. 세부적으로, 개발과정에서 (1) 마스크 기능을 통해 실험결과에 관한 동영상 클립을 도입하고 기존 과학 시뮬레이션의 이점으로 알려진 (2) 상호작용적 정보 제시방식과 (3) 단순화된 모델 표현방식을 일부 승계함으로써, 학생들에게 더 나은 관찰 경험을 제공할 수 있는 과학 시뮬레이션의 디자인 요건을 시사하였다. 두 번째 개발사례에서는 ‘전자배치 모델’에 관한 과학 시뮬레이션의 개발 및 평가를 통해, 중등 과학교육의 맥락에서 과학개념 및 과학 모델에 관한 학습을 돕는 조작 경험을 제공하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 논의하였다. 세부적으로, 개발과정에서 (1) 3D프린팅 기반 텐저블 모델 교구 및 (2) 모델 타겟 방식의 증강현실 기술을 도입함으로써, 이들로부터 학생들에게 더 나은 조작 경험을 제공하기 위한 디자인 요건을 시사하였다. 이로써 본 논문에서는 학습자에게 더 나은 관찰과 조작의 경험을 제공하는 과학 시뮬레이션의 디자인 요건을 도출하여 ‘실제적 관찰’과 ‘실제적 조작’에 관한 교육적 어포던스를 갖는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 상정하였다. 이러한 디자인 특성에 관한 제안은 비록 일종의 추론적 가설로서 약한 확증을 근거로 하더라도, 우리나라 중등 과학교육의 문제에 직접 접근함으로써 이를 해결하기 위해 모색한 새로운 처방이라는 점에서 의의가 있다. 더욱이, 본 논문은 과학개념과 모델의 이해를 돕는 학습환경을 구성하는 데 있어서 최근 관심이 증가하고 있는 증강현실 기술과 3D프린터 기술의 교육적 활용 가치를 확장한 사례로서, 과학교육 및 교육공학 학계에 기여할 수 있을 것이다.

주요어 : 과학 시뮬레이션, 실제적 관찰, 실제적 조작, 증강현실, 중등 과학

학 번 : 2015-31136

목 차

| | |
|-------------|----|
| 국문초록 | i |
| 목 차 | ii |
| 표 목 차 | iv |
| 그림목차 | v |

I. 서론

| | |
|------------------|----|
| 1. 연구의 배경 | 1 |
| 2. 연구의 필요성 | 8 |
| 3. 연구의 목적 | 15 |
| 4. 용어의 정의 | 16 |

II. 이론적 배경

| | |
|---------------------------------|----|
| 1. 과학교육에서 탐구활동과 모델 학습 | 21 |
| 2. 과학 시뮬레이션의 개념과 교육적 효용 | 25 |
| 3. 증강현실의 개념과 과학교육적 활용 | 27 |
| 4. 중등 과학교육에서 증강현실 콘텐츠의 전망 | 42 |

III. 연구내용 및 방법

| | |
|-----------------|----|
| 1. 사례연구방법 | 49 |
|-----------------|----|

| | |
|--------------------------------|----|
| 2. 연구의 논리 : 프래그머티즘 | 51 |
| 3. 과학 시뮬레이션의 개발 전략 | 55 |
| 4. 과학 시뮬레이션의 개발에서 교사의 관점 | 64 |

IV. 연구결과

| | |
|--|----|
| 1. 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션 개발사례 (사례1) | 69 |
| 2. 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션 개발사례 (사례2) | 86 |

V. 논의 및 결론

| | |
|----------------------------------|-----|
| 1. 논의의 대상 | 110 |
| 2. 과학 시뮬레이션 개발의 의의 | 112 |
| 3. 과학 시뮬레이션의 디자인 요건에 관한 제안 | 116 |
| 4. 연구의 결론 | 119 |
| 5. 연구의 한계점 | 120 |
| 6. 후속연구에 관한 제언 | 122 |

| | |
|------------|-----|
| 참고문헌 | 126 |
|------------|-----|

| | |
|----------------|-----|
| Abstract | 142 |
|----------------|-----|

표 목 차

| | |
|---|-----|
| 〈표 II-1〉 과학교육에서 수행된 증강현실에 관한 문헌들 | 32 |
| 〈표 II-2〉 범교과적 차원에서 증강현실의 교육적 어포던스 | 46 |
| 〈표 III-1〉 과학 시뮬레이션의 개발에서 고려해야 할 세 가지 측면 | 56 |
| 〈표 III-2〉 과학 시뮬레이션의 요건 | 57 |
| 〈표 III-3〉 정서적, 인지적, 참여적 관점에서의 디자인 가이드라인 | 60 |
| 〈표 IV-1〉 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 설문지 | 77 |
| 〈표 IV-2〉 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 참여교사 | 77 |
| 〈표 IV-3〉 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 결과 | 82 |
| 〈표 IV-4〉 실제적 관찰의 교육적 어포던스를 위한 디자인 요건 | 83 |
| 〈표 IV-5〉 모델 교구 및 과학 시뮬레이션에서 의도된 학습 개념들 | 92 |
| 〈표 IV-6〉 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 설문지 | 96 |
| 〈표 IV-7〉 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 참여교사 | 97 |
| 〈표 IV-8〉 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 결과 | 103 |
| 〈표 IV-9〉 실제적 조작의 교육적 어포던스를 위한 디자인 요건 | 107 |

그 립 목 차

| | |
|--|----|
| [그림 I-1] 효과적인 과학 학습을 이끄는 3Hs 틀 | 4 |
| [그림 II-1] 분자 모델 교구 예시 | 23 |
| [그림 II-2] 가상세계 환경의 연속성 | 28 |
| [그림 II-3] 증강현실의 두 가지 특성 | 29 |
| [그림 II-4] 증강현실의 구현을 위한 기술 | 30 |
| [그림 II-5] 과학교육에서 AR 관련 연구주제들에 관한 시각 모델 | 47 |
| [그림 II-6] 과학교육에서 증강현실 연구와 관련될 수 있는 이론에 대한 틀 | 48 |
| [그림 III-1] 사례연구의 초점 | 50 |
| [그림 III-2] 과학 시뮬레이션의 교육적 활용성을 높이는 개발도구의 요건 | 62 |
| [그림 III-3] 참여적 디자인에서 개발에 관여하는 인지에 관한 모델 | 67 |
| [그림 IV-1] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 관한 개발 절차 | 74 |
| [그림 IV-2] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에서 내용 구성 순서 | 78 |
| [그림 IV-3] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션의 내용구성 예시 | 80 |
| [그림 IV-4] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 포함된 네 가지 실험 세트의 결과 | 81 |
| [그림 IV-5] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 포함된 이온 모델 | 82 |
| [그림 IV-6] 마스크 기능을 통한 동영상 클립의 모양 변형 | 85 |
| [그림 IV-7] 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션에 관한 개발 절차 | 89 |
| [그림 IV-8] Rhinoceros 5/Windows와 3D프린터를 활용한 제작과정 | 93 |
| [그림 IV-9] 전자배치에 관한 텐저블 모델 교구의 조립 전 부품의 예시 | 98 |
| [그림 IV-10] 전자배치에 관한 텐저블 모델 교구의 완성된 모습 | 98 |

| | |
|--|-----|
| [그림 IV-11] 전자배치에 관한 텐저블 모델 교구의 변형된 활용 | 99 |
| [그림 IV-12] 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션의 구동 장면 예시 | 100 |
| [그림 IV-13] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 기능 설명 | 100 |
| [그림 IV-14] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 첫 번째 메뉴 실행 예시 | 101 |
| [그림 IV-15] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 두 번째 메뉴 실행 예시 | 101 |
| [그림 IV-16] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 세 번째 메뉴 실행 예시 | 102 |
| [그림 IV-17] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 네 번째 메뉴 실행 예시 | 102 |
| [그림 V-1] 과학교육에서 증강현실 관련 연구주제의 확장된 시각 모델 | 116 |

I. 서론

1. 연구의 배경

가. 중등 과학교육의 이상과 실제

교육의 새로운 패러다임이 등장함에 따라 배움의 본질을 찾는 일은 오래전부터 교육학자들의 주된 이슈였다. 오늘날 교육의 이상향으로 자리 잡은 것은 ‘구성주의 교육’ 패러다임이며(강인애 외, 2006), 이는 교육계가 오랜 기간동안 비고츠키(Vygotsky) 심리학과 사람들을 시초로 하는 사회적 구성주의로부터 영향을 받았던 것의 결과이다. 비고츠키 심리학과 사람들은 인간이 동물과 구별될 수 있는 본질적 특성을 ‘배움(learning)’에 관한 행위로 믿었으며, 인간 사회가 문화-역사적으로 진보할 수 있었던 근원에는 인간이 배움 행위로서 선대 인간들의 활동을 후대 인간들이 ‘내면화’하려 하는 본능이 있었기 때문으로 여기고 있었다(Cole & Engeström, 1993). 이들의 관점에서 인간의 배움 행위는 인간이 언어를 발명하기 이전부터 가지고 있었던 특성으로 볼 수 있는데, 이때 배움의 대상이 되는 단위는 본질적으로 ‘활동’인 것이다(Engeström, 1999). 활동이란 주체(subject)로서 인간이 어떤 요소를 매개로 객체(object)와 상호작용하는 일련의 행위를 가리키며, 연구의 측면에서는 하나의 사례에 대한 분석 단위(a unit of analysis)로서 고려되기도 한다(Cole & Engeström, 1993).

오늘날 교육의 관점에서 배움은 인간다운 삶을 영위하는 데 있어 중요한 행위로서, 선조의 경험과 지혜를 전수받는 과정이자 문화-역사적(cultural-historically)으로 축적된 활동을 내면화하는 과정이라 말할 수 있다. 배움의 행위 덕분에, 한 인간은 그가 태어나기 전 세대의 사람들이 그들 자신의 활동을 본떠 축적한 지식으로부터 인간다운 삶을 영위하게 되었다(Cole & Engeström, 1993). 오늘날 배움의 대상이자, 학문의 한 분야로 자리 잡은 과학, 철학, 인문학 등도 배움의 대상

이 되는 활동의 또 다른 형식으로 고려될 수 있을 것이다.

배움의 본성으로부터 교육의 지향점을 생각해본다면, 교육은 인간이 선조들의 활동을 이해함으로써 인간다움을 향유하는 방향으로 나아가야 할 것이다. 이를 위한 교육적 실천으로는 구성주의를 이끌어 온 비고츠키 학파가 배움의 본성으로 활동의 내면화를 주장해온 것처럼, 활동의 측면에서 ‘학습자의 개별적 실천’을 강조하는 것이 알려져 있다(이진경 외, 2018; Cole & Engeström, 1993). 표현은 다르지만, ‘학습자 중심 교과교육’, ‘학생 참여형 교육’, ‘능동학습(active learning)’, ‘협력학습(collaborative learning)’ 등 구성주의 교수학습의 필요성을 제기하는 교육 연구들도 이와 맥을 같이하고 있는 것이다(Chi & Wylie, 2014; de Jong, 2019).

구성주의 사조에 영향을 받은 오늘날 교육계에서는 획일화된 지식의 암기를 추구하기보다는 학습자의 자율성과 주도권을 인정하면서 그들의 생각과 선호에 기반한 ‘학습경험’을 제공하려는 방향으로 나아가고 있다(서예원, 2007; 조희형, 최경희, 2002; Dewey, 1997; de Jong, 2019). 구성주의 학습관은 우리나라 국가수준 교육과정에서도 드러나는데, 특히, 2015 개정 교육과정 총론에서 제시하고 있는 교육과정의 성격에서 엿볼 수 있다. 교육부(2015b)는 교육과정의 성격에서 국가 수준의 공통성 이외에 지역, 학교, 개인 수준에서 다양성을 추구하는 교육과정이라는 점과 학습자 개인의 자율성과 창의성을 신장하기 위한 학습 중심의 교육과정이라는 점을 명시하였는데, 이들은 학습자의 개별적 특성과 학습자의 특수한 학습맥락을 함께 고려하고 있다는 점에서 국가수준 교육과정이 구성주의 학습관을 포함하고 있음을 시사한다(서예원, 2007; 조희형, 최경희, 2002). 그 밖에, 2015 개정 교육과정에서 새롭게 명시하고 있는 ‘핵심역량’도 학생들이 능동적으로 학습에 참여함으로써 지식을 구성하고 적용하게 하려는 구성주의적 실천의 맥을 잇는 것이라 여겨진다. 부연하자면, 핵심역량에는 ‘자기주도적으로 살아갈 수 있는 자기관리 역량’, ‘문제해결에 필요한 지식정보처리 역량’, ‘새로운 것을 창출하는 창의적 사고 역량’, ‘공감적 이해와 문화적 감수성을 포함하는 심미적

감성 역량’, ‘의사소통 역량’, ‘공동체 역량’이 포함된다(교육부, 2015b).

한편, 구성주의 학습관은 모든 교과 교수학습에 영향을 주고 있지만, 일부 과학교육 연구자들은 구성주의 학습관이 과학교육의 본성과 부조화를 이룬다고 우려를 제기한 바 있다(서예원, 2007; 조희형, 최경희, 2002). 그들에 따르면, 과학교육은 학계에 참여하는 과학자들 사이에 합의된 지식을 중요하게 여기는 학문적 특성상, 구성주의적 학습관과 모순을 일으킬 여지가 있었다(조희형, 최경희, 2002). 구성주의 학습관에 따라 과학교육에서도 학생들이 지식을 스스로 구성하려고 한다면, 학습의 결과는 과학의 학문 전통에서 보았을 때 ‘오개념’ 또는 ‘대안개념’을 학습한 것에 지나지 않기 때문이다(강명희 외, 2011; 조희형, 최경희, 2002). 만약, 한 학생이 경험적으로 알고 있던 선개념을 과학적 개념으로 오인하게 된다면, 그는 삶 속에서 수많은 어려움에 직면하게 될 것이다.

하지만, 과학교육과 구성주의적 학습관 사이에 모순을 제기했던 연구자들도 모든 면에서 구성주의적 실천이 과학교육과 양립할 수 없는 것은 아니라고 말한다(서예원, 2007; 조희형, 최경희, 2002). 구성주의적 실천과 과학교육이 양립할 수 있는 공통적 영역에는 ‘탐구활동(inquiry activity)’이 있기 때문이다. 과학교육에서는 학습자 중심 교수학습의 하나로 탐구활동을 도입함으로써 이러한 모순점을 해소해오고 있다(교육부, 2015a; 조희형, 최경희, 2002).

탐구활동은 인지적(cognitive), 정서적(affective) 발달 및 과학 탐구 기능(science process skills) 강화를 목적으로 운영되며, 학생들에게 과학의 본성(nature of science)에 관한 학습경험을 제공할 수 있다(교육부, 2015a). 따라서, 하나의 탐구활동에는 인지적, 정서적, 기능적 측면의 교육적 효과가 모두 나타날 수 있는 것이다. 이와 관련하여, Inan & Inan(2015)의 연구에서는 과학교육에서 이러한 세 가지 측면이 통합적으로 고려하기 위해, 탐구활동을 비롯한 과학 교수학습의 실천에 관한 3Hs 틀을 제안한 바 있다(그림 I-1). 3Hs 틀은 과학교육뿐만 아니라, 디자인교육과 메이커교육 등의 영역에서도 리터러시(literacy) 또는 구인(construct)으로 도입되어 연구된 바 있으며, 주로 교수학습

의 실천에 관한 지향점을 나타내는 틀로 활용되고 있다(윤혜진, 2018). 과학교육에서 3Hs는 Heads-on, Hearts-on, Hands-on 과학 교수학습의 약칭에 해당하며(Inan & Inan, 2015), 인지적, 정서적, 기능적 측면의 성취를 위한 과학 활동을 가리키기 위해 사용된다. 예컨대, (1) Heads-on은 ‘정신적 참여에 기반하는’, (2) Hearts-on은 ‘흥미에 기반하는’, (3) Hands-on은 ‘손을 통한 참여에 기반하는’ 과학 활동의 각 측면을 수식할 때 사용하는 용어인 것이다. 3Hs 틀은 이러한 세 가지 측면이 서로 얹혀있을 뿐만 아니라, 이들이 적절하게 조화로운 비중으로 함께 고려될 때 효과적인 과학 학습이 일어나는 것으로 가정한다(Inan & Inan, 2015). 이때, 중요한 것은 세 가지 측면 중 Heads-on과 Hearts-on에 관한 학습경험은 전통적인 과학 수업에서도 교사의 역량에 따라 손쉽게 의도될 수 있지만, Hands-on에 관한 학습경험은 교수학습 설계 단계에서 명시적으로 고려해야 한다는 점이다(김민성, 2009; 윤혜진, 2018; Inan & Inan, 2015).



[그림 1 -1] 효과적인 과학 학습을 이끄는 3Hs 틀

사실상, 과학교육에서 학생이 직접 자신의 손을 통해 학습에 참여하는 것은 기능적 측면의 강화뿐 아니라 인지적 발달과 학습 정서의 향상에도 도움을 줄 수 있어 Hands-on 영역에서뿐만 아니라, Heads-on과 Hearts-on 영역에서도 중요한 것이다(Inan & Inan, 2015). 하지만, 우리나라 중등 과학교육에서는 손을 통해 학습할 기회가 적게 제공되는 반면, 눈에 의존하여 학습할 기회가 빈번하게

제공되므로, Heads-on, Hearts-on, Hands-on 측면의 학습경험에서 불균형이 발생할 수 있다. 더군다나, 중등 과학교육으로 넘어갈수록 ‘손’으로 학습할 기회가 ‘양적으로’ 줄어드는 것뿐만 아니라, ‘눈’을 통해 학습에 참여할 기회도 지필 평가를 중시하는 학교문화의 변화로 인해 ‘질적으로’ 제약받게 되므로, 학생들은 학습경험의 불균형을 점진적으로 겪게 될 것으로 예상된다(박현주, 2013; 이진경 외, 2018). 이러한 학습의 불균형은 단지 학생들이 과학 교과에 대해 흥미를 잃게 할 뿐만 아니라, 한때 심각한 사회적 문제로 대두되었던 ‘이공계 기피현상’으로 이어질 수 있어, 그와 관련된 문제에 각별한 관심을 기울일 필요가 있다(곽영순, 2018; 김용훈, 2010; 배주현, 손원숙, 2018).

이에, 본 논문에서는 중등 과학교육에서 Heads-on, Hearts-on, Hands-on 측면에서 균형 잡힌 과학 교수학습을 실행하도록 돕기 위한 도구로서 (1) 관찰 경험과 (2) 조작 경험을 위한 과학 시뮬레이션의 개발사례에 초점을 두었고, 과학교육의 전형적인 모습을 드러내기에 적합한 것으로 판단되는 ‘화학 교과’ 내용을 중심으로 두 학습경험과 관련된 과학 시뮬레이션의 개발에 관한 사례연구를 수행하였다. 이때, 조작 경험에 관한 과학 시뮬레이션의 개발사례에서는 새로운 방식의 증강현실 기술을 도입함으로써 교육콘텐츠 연구의 결과로서 또 다른 함의를 포함하고자 하였다.

나. 증강현실 기술의 발전

최근 빠른 속도로 발전하는 사물 인터넷 및 정보처리 기술로 인해 지식과 정보가 급증하면서부터 교육계는 곧 다가올 사회가 요구하는 역량에 주목하기 시작하였다. 특히, 교육계는 현재 1990년대 이래로 선호됐던 구성주의 교육방식의 연장선에서 새롭게 테크놀로지를 도입함으로써 핵심역량을 비롯한 학습자의 인지적·정서적 발달을 촉진하는 방안을 여러 방면에서 모색하고 있다(강인애 외, 2006; Dewey, 1997; NRC, 1999). 이러한 변화의 배경에는 학교 안에서 배우는 지식과 학교 밖에서 일어나는 실제 삶 사이에 놓인 장벽을 걷어내려는 의도

가 포함되어 있는데, 여기서 테크놀로지는 교육학자들에 의해 교과서 지식과 실제 세계의 맥락 사이를 매개하는 도구로 활용되어 온 것이다(Wong et al., 2015). 지식을 암기의 대상이 아닌 이해와 적용의 대상으로 두는 교육 사조가 전파되면서부터 교육 연구에서는 테크놀로지를 도입하는 비중이 늘었고(강인애, 2006; Wong et al., 2015), 그중에서도 교육적 테크놀로지로서 경제성, 휴대성, 편의성을 갖춘 ‘스마트기기’를 통해 교수학습 내용, 방법, 평가의 변화를 모색하는 연구가 지난 10년 동안 크게 증가하였다(김혜나, 2018). 스마트기기는 한 방향으로만 정보를 전달하는 미디어에서부터 상호작용적으로 사용자의 반응에 상응하는 정보를 제공하는 시뮬레이션까지 다양한 교육콘텐츠를 구동하는 데 활용될 수 있어, 교육연구자들로부터 주목을 받고 있다(de Jong, 2019).

한편, 연구물의 축적과 함께 스마트기기가 교육적 어포던스(educational affordance)를 지닌 도구로 알려지면서, 관련 연구의 동향은 새로운 어포던스를 발굴하기 위한 시도로서 다양한 형태의 콘텐츠를 개발하는 쪽으로 쏠려 나가고 있다(황윤자, 2013). 특히, 어포던스 관점에서 스마트기기에 내장된 지자기, 가속도, 자이로 센서를 통한 사용자의 학습 상태를 인식하는 상황인식(context awareness) 기술이 알려지면서(Wong et al., 2015), 관련 연구자들은 이러한 기술을 접목하는 교육콘텐츠 연구에 높은 관심을 보여왔다(김혜나, 2018). 맥락 인식 기술은 상호작용의 수준을 강화하면서도 동시에 지식을 맥락과 엮어 제시할 수 있어, 교육콘텐츠의 진보를 불러일으킬 차세대 유망 기술로 제기된 바 있다(Wong et al., 2015). 현재만 보더라도 맥락인식 기술은 스마트기기의 카메라 센서가 실시간으로 받아들이는 장면 위에 가상세계의 표상을 생생하게 덧씌우는 데 적용되고 있으며(Schmalstieg & Hollerer, 2016), 무엇보다도 현실세계와 가상세계를 혼합하는 기술인 증강현실(augmented reality)의 발전을 이끌고 있다(김혜나, 2018). 결과적으로, 스마트기기에 대한 학계의 높아진 관심과 상황인식 기술의 진보는 증강현실의 교육적 활용에 대한 기대를 불러일으키고 있다.

증강현실은 온전한 가상세계라기보다는 실제 세계에 조금 더 가까이 닿아있는 혼합 세계에 관한 멀티미디어 기술을 가리키는 용어로 통용되며, 실제 세계의 장면을 중심으로 그것 위에 특정 정보를 가진 가상적인 표상이 덧씌워 사용자에게 높은 수준의 실재감을 제공하는 기술로서 학계에 보고되고 있다(김혜나, 2018; Milgram & Kishino, 1994). 교육학계에서 이 기술은 구체적인 맥락과 함께 정보를 제공할 수 있어 인지발달수준이 낮은 유아·초등학생과 학업성취가 낮은 특수 교육 대상자의 학습을 촉진하기 위한 교육콘텐츠를 구현하는 데 적용되어왔다(김정수, 이태수, 2018; 이태수, 이동원, 2015). 비록 이러한 종류의 교육콘텐츠들이 중·고등학생, 대학생, 성인까지 학습 흥미, 몰입을 이끌 수 있는 것으로 알려졌지만, 중등·고등교육 학습자를 대상으로 개발된 교육콘텐츠는 비교적 적은 편이어서 여전히 우리나라 중등 과학교육 현장에서는 활용되지 못하고 있다(김혜나, 2018).

한편, PISA 2015 결과에 따르면, 우리나라 중·고등학생들이 느끼는 과학 교과에 대한 내적 동기는 OECD 국가의 평균치에 미치지 못하는 것으로 나타났다(배주현, 손원숙, 2018). 과학 교과는 민주주의 사회를 살아갈 건강한 시민 양성 뿐만 아니라 고부가가치 산업에 종사할 인재 양성에도 기여할 수 있어, 학생들이 과학 교과에 관심을 두게 만드는 것은 공교육 차원에서 중요하다(교육부, 2015b; 김용훈, 2010). 이러한 문제 상황에서 증강현실은 우리나라 과학교육의 질적 수준을 높일 수 있는 콘텐츠의 대안적 기술이 될 수 있을 것으로 기대된다(황윤자, 2013). 특히, 증강현실은 중등 과학교육에서 학생들의 학업성취와 흥미를 높이기 위한 처방으로 활용될 수 있으며(김정수, 2018), 나아가, 과학교육이 미래사회를 살아갈 학생들의 역량을 추구하는 방향으로 나아가는 데 기여할 것으로 전망된다. 따라서, 증강현실이 중등 과학교육에 전파되고 적용되기 위해서는 이것의 교육적 효용을 알리는 연구의 필요성이 제기되는 바이다.

이와 관련하여, 본 논문에서는 중등 과학교육의 요구로서, 조작 행위와 관련된 실제적인 학습경험을 지원하는 과학 시뮬레이션의 구현을 위해 새로운 방식의 증강현실 기술을 활용하는 개발사례를 다루고자 하였다.

2. 연구의 필요성

가. 과학 시뮬레이션 디자인 연구의 필요성

과학 교과 내용 중에서도 주로 화학적 개념들은 대부분 입자 수준에서 적용되는 양자역학적 원리에 근거하기 때문에 추상적인 특성을 보이는데, 이러한 속성은 학생들이 과학을 어렵게 생각하게 되는 전형적인 특성이라 말할 수 있다(노태희 외, 1996). 이에 기존 과학교과서에서는 학생들의 이해를 돕기 위해 그들의 인지발달과 교육과정을 고려하여 분자 모델에 관한 삽화를 제시해왔다(Höffler & Leutner, 2007). 하지만, 과학교과서의 삽화는 오직 정지된 상태의 현상만을 묘사하기 때문에 학생들에게 종종 오개념을 유발하거나 과학에 대한 흥미를 감소시킬 수 있어 표상으로서의 한계점을 지닌다(강명희 외, 2011). 이 때문에 선행연구에서는 과학 수업에서 학생들의 개념 이해를 돕기 위한 표상의 대안으로서 가상의 3차원 공간에서 분자 모델을 비롯한 다양한 표상을 능동적으로 다루어 볼 수 있는 시뮬레이션을 제안해 온 것이다(강명희 외, 2011; Lindgren & Schwartz, 2009). 그 밖에도, 시뮬레이션은 학습자의 요구에 따라 그에 상응하는 자료가 실시간으로 제시되는 ‘상호작용적 특성’으로 인해 개인 교사(tutor)처럼 학습자에게 개별적으로 학습 도움을 제공할 수 있으므로(Chen et al., 2014), 화학을 비롯한 과학 교과 대부분에서도 학생들이 과학적 개념을 올바르게 이해하도록 돕는 자기-주도적(self-directed) · 동기-부여된(motivated) · 수준별(adaptive) 학습환경이자 교육콘텐츠로서 제기되고 있다(이창윤, 2015; de Jong, 2019; Rutten et al., 2012; Smetana & Bell, 2012).

한편, 시뮬레이션에 관한 선행연구에서는 주로 ‘디자인’의 개선을 통해 그것의 교육적 효과를 높이는 데 주력해왔고, 이와 관련하여 개발과정에서 사용성¹⁾(usability)을 높이기 위한 디자인 원리(design principle)의 중요성을 강조해왔

1) 본 논문에서는 ‘usability’ 용어를 디자인 차원에서 논의할 때에는 ‘사용성’으로, 평가의 문항 차원에서 논의할 때에는 ‘유용성’으로 번안하였다.

다(Ardito et al., 2006; Mayer & Moreno, 2003). 디자인은 시뮬레이션을 비롯한 교육콘텐츠의 개발과 적용에 대한 ‘교육적 타당성’과 ‘효과의 신뢰성’에 영향을 주므로 연구의 차원에서 중요하게 고려되고 있다. 이때, 상기한 두 가지 측면에서 바라보면, 타당한 디자인은 이론적·경험적 원리에 근거하여 향상된 교육적 효과를 보증하는 디자인의 형태라 말할 수 있으며, 신뢰로운 디자인은 일관된 교육적 효과를 보증하는 디자인의 형태라 말할 수 있다(Jin, 2013; Quintana et al., 2009). 이들의 관점으로부터 교과교육을 목적으로 수행되는 시뮬레이션 연구에서 타당한 디자인으로 나아가려면, 기존에 알려진 보편적인 디자인 원리의 적용에 더하여 교과 특수성을 고려한 디자인의 창출이 요구된다. 또한, 신뢰로운 디자인으로 나아가려면, 추후 메타분석을 위한 디자인 사례의 축적이 필요하다(Rutten et al., 2012; Smetana & Bell, 2012). 마찬가지로, 과학 시뮬레이션에 관한 연구에서도 개발과정에서 교과의 특수성이 고려된 디자인의 창출이 요구되며, 또한, 연구의 초점을 교육적 효과뿐만 아니라 디자인 사례에도 둘 필요가 있는 것이다(Blake & Scanlon, 2007).

그러나, 지금까지 교과교육의 영역에서 수행된 시뮬레이션에 관한 선행연구 중 교과에 특화된 디자인 사례를 심도 있게 다뤘던 연구는 한정된 편이며, 과학 교육에서 과학 시뮬레이션의 새로운 디자인 특성을 시사하는 연구도 부족한 실정이었다(Smetana & Bell, 2012). 이에 본 논문에서는 과학 시뮬레이션의 개발을 위한 타당하고 신뢰로운 디자인의 발굴을 위해, 우리나라 중등 과학교육에서 제기될만한 과학 시뮬레이션에 대한 디자인 요구로서 (1) 관찰 경험과 (2) 조작 경험을 지원하기 위한 디자인에 초점을 두고자 하였고, 화학 교과를 중심으로 수행된 개발의 사례들을 통해 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 탐색하였다. 과학 시뮬레이션의 개발과 관련하여 상기한 우리나라 중등 과학교육의 요구는 다음 단락에서 상술하였다.

나. 관찰 경험을 제공하는 학습환경에 대한 요구

중학교 과학과 교육과정은 화학적 양금생성반응을 통해 학생들이 보이지 않는 이온에 대한 과학적 모델을 올바르게 구성하고 적용하도록 의도한다(교육부, 2015a; 윤회정, 이윤하, 2014). 양금생성반응이란 서로 다른 이온결합 화합물이 녹아있는 두 수용액을 혼합시켰을 때 특정 양이온과 음이온이 정전기적 인력에 의해 만나면서 난용성 염을 형성하는 반응을 말한다(신영준 외, 2013). 여기서 생성되는 양금은 구성하는 이온의 종류에 따라 고유한 색을 띠기 때문에, 이러한 현상은 학생들이 육안으로도 손쉽게 관찰할 수 있다. 그러나, 과학과 교육과정의 성취기준이 오직 양금생성반응을 통해 이온이 관여하고 있음을 이해하는 데 있으므로, 교육 현장에서는 이러한 실험이 학생들이 반드시 경험해야 할 탐구활동이라기보다는 단지 이온에 관한 과학적 모델(이하 ‘이온 모델’)의 내면화를 위한 보조적 수단 또는 여분의 선택지로 전락할 여지가 있다(교육부, 2015a). 설령 학생이 이러한 실험의 기회를 얻지 못하는 경우가 있더라도, 과학과 교육과정에서는 이를 문제로 삼지 않을 것이기 때문이다.

물론, 실험을 경험하지 못한 채 이온 모델을 학습하더라도, 학생들 다수는 그들 자신의 추상적 사고 능력을 통해 성공적인 학업성취 상태에 도달할 수 있을 것이다(윤회정, 이윤하, 2014; Gilbert, 2005). 그러나, 그렇다고 하더라도 과학 교사는 한 교실 내 모든 학생이 이온 모델을 충분히 이해할 거라 기대하여서는 안 된다. 학생들의 추상적 사고는 보통은 12세 이후에 가능하다고 하나, 인지발달이론에 따르면, 사고 능력의 발달은 신체적 성장과 맥락적 경험에 따라 다르게 나타날 수 있기 때문이다(노태희 외, 1996; Gilbert, 2005). 결국, 실험 경험의 부재는 중등 과학교육에서 인지발달이 더딘 학생들을 불가피하게 학습을 포기하는 낙오자로 만들지도 모른다. 이에 대한 최선의 해결책은 다양한 사고 수준의 학생들이 보편적으로 이온 모델을 이해할 수 있게, 그리고 나아가 과학과 교육과정에서 제시하는 모든 과학적 모델을 이해할 수 있게 매번 그들에게 실험실 활동을 제공하는 것이라 말할 수 있다(강명희 외, 2011; Harrison &

Treagust, 2000).

하지만, 과학교사는 학교의 사회문화적 맥락으로부터 비롯되는 이상적인 요구와 현실적인 제약 사이에서 발생하는 긴장(tensions)을 피하기 어려우며, 그로 인해 교육과정에 제시된 모든 실험을 매번 실험실 활동으로 운영하는 것은 사실상 불가능하다(김명희, 김영신, 2012; 박현주, 2013; 신소연 외, 2018). 오히려, 과학교사는 교육과정 상 규정된 시수 이내에서 교육평가도 운영해야 하므로, 평가 지표와 관련된 교과서의 지식을 전달하기 위한 ‘강의식 수업’에 큰 비중을 두게 된다(김명희, 김영신, 2012; 신소연 외, 2018; Wong et al., 2015). 이처럼 과학교사가 교육과정에 제시된 실험 중 실험실 활동으로 운영되지 않은 실험들도 강의식 수업을 통해 전달함으로써 자신에게 부여된 책무를 다하고자 한다면, 결국 학생들은 많은 실험을 오직 과학교과서 하나에 의존하여 배우게 될 것이다.

과학교과서는 비록 지식을 전달하는 매체로서 유리한 면을 가지고 있다고 하지만, 실험에 관한 학습경험을 제공하는 데에는 한계를 드러낸다(Liu et al., 2008). 예컨대, 양금생성반응과 관련하여, 기존 과학교과서에 제시된 실험결과에 대한 삽화는 인쇄 품질에 따라 다르게 보일 우려가 있어 이것만으로는 Cds와 PbI 양금의 색상에 대해 온전한 관찰 경험을 제공하기 어렵다. 게다가, 기존 과학교과서에서는 Cds와 PbI 양금의 색상이 둘 다 노란색 양금으로 기술함으로써 그것의 차이를 가볍게 다루고 있어 학생들이 과학적 현상이 단순하다는 인상을 느끼게 만들 수도 있다. 이러한 왜곡된 관찰이 반복되거나 단조로움에 대한 인상이 심각해지면, 결국 학생들은 과학에 대해 흥미를 잃어버릴지도 모른다(Liu et al., 2008).

사실상 학생들은 Cds와 PbI 양금을 실험을 통해 직접 관찰해보면 곧바로 두 양금의 색상은 같은 ‘노란색’이 아님을 알 수 있지만, 그리고, 이 과정에서 학생들은 능동적인 학습 참여를 통해 과학에 대한 흥미를 더욱 갖게 될지도 모르지만, 이러한 관찰 경험이 모든 학생에게 반드시 제공되는 것은 아니다. 학교 현장에서는 이상적인 학습경험의 제공을 방해하는 현실적인 제약이 존재하기 때문이

다. 그럼에도 불구하고, 이와 관련된 과학 수업에서 학생들의 능동적 참여를 이끌어내기 위해서는 더 나은 실제적인 학습경험을 지원하는 대안적인 학습환경을 위한 교육콘텐츠의 개발이 요구된다(Gilbert, 2004; Kim & Ye, 2015).

이때 과학 시뮬레이션이 대안적인 교육콘텐츠로서 학습자가 실제 학습상황에서와 마찬가지로 몰입하는 학습환경을 조성하는 데 제안될 수 있을 것이다(강명희 외, 2011; de Jong, 2019). 선행연구에서는 과학 시뮬레이션이 주로 플래시(flash)에 기반하여 개발되어왔는데(강명희 외, 2011; 양소연, 2007; Davids, Chikte, & Halperin, 2011), 그 이유는 플래시가 파일 포맷의 일종으로 다양한 표상들(동영상 클립, 애니메이션, 그래픽 삽화)을 표현할 수 있게 하고 이들이 사용자와 상호작용적으로 반응할 수 있게 할 수 있어 교육콘텐츠의 개발을 위한 파일 형식으로 유망한 것으로 알려졌기 때문이다.

그러나, 종래의 과학 시뮬레이션은 이러한 플래시 형식으로부터 얻을 수 있는 이점을 완전히 보여주지 못했다. 특히, 기존 과학 시뮬레이션들은 주로 삽화나 애니메이션 표상을 중심으로 개발되었기 때문에, 이러한 방식에서는 이상적인 현상 또는 간소화된 일부 현상만을 전달할 수밖에 없어 현실과 동떨어진 지식을 전달할 우려가 제기되어 왔다(Rutten et al., 2012; Smetana & Bell, 2012). 이러한 한계점은 과학 시뮬레이션 개발의 타당성 측면에서도 비판의 여지를 남긴다(Chen et al., 2014; Höffler & Leitner, 2007). 따라서, 학생들에게 더 나은 관찰 경험을 제공하기 위해서는 표상의 제약을 극복하는 방안에 대해 탐색적으로 가능성을 드러내는 과학 시뮬레이션에 관한 개발 연구가 요구된다.

다. 조작 경험을 제공하는 학습환경에 대한 요구

중등 과학교육의 목표 중 하나는 학생들이 과학적 개념을 올바르게 이해하고 습득하게 함으로써 나아가 민주사회 시민으로서 실생활의 문제해결에 필요한 과학적·합리적 사고를 함양하게 하는 것이다(교육부, 2015a). 하지만, 우리나라 학

생들은 상급학년으로 진학함과 동시에 추상성 수준이 높은 과학개념을 배우기 시작하면서부터 과학 과목을 어려운 것으로 생각하게 된다(김창곤, 2003; 노태희 외, 1996). 이러한 현상에 대한 이유 중 하나는 과학과 교육과정이 ‘종적 연계성’을 충분히 고려하지 못한 채 학습 내용을 구성하고 있어, 학생들이 과학개념을 체계적으로 학습할 기회를 얻지 못하기 때문이라 말할 수 있다(이효녕, 여채영, 2015). 이러한 상황에서 학생들은 지식을 상호 연관 지어 이해하려 하기 보다는 단편적인 지식만을 암기식으로 배우려 한다(김창곤, 2003). 사실상, 과학과 교육과정에 관한 법률²⁾ 및 이와 관련된 교육 정책들도 학습 내용을 규제하고 있어 학생들은 과학적 개념을 불가피하게 단편적으로 이해할 수밖에 없는 상황인 것이다. 과학과 교육과정의 의도와 학생들의 올바른 과학개념 이해는 양립하기 어려우며 종종 모순될 수 있다(이효녕, 여채영, 2015). 많은 학생이 과학과 교육과정을 따르는 교과서와 참고서로 과학을 배우고 있어 이러한 모순의 해결은 과학교육에서 중요하게 다루어져야 한다(김창곤, 2003).

한편, 화학1 교과서에는 ‘원자 모델’과 ‘전자배치 모델’에 관한 내용이 포함되어 있는데(노태희 외, 2018), 이들 과학 모델은 물질의 구성에 관한 개념적 측면에서의 이해를 비롯하여 화합물의 구조, 결합, 반응 등 화학 교과에서 다루는 과학적 개념을 체계적으로 이해하는 데 중요하다. 하지만, 원자 모델과 전자배치 모델에 대해 이해하는 것도 사실상 ‘에너지 준위의 불연속성’, ‘입자성과 파동성에 관한 이중성’, ‘슈뢰딩거 방정식’ 등 양자역학적 이론(개념)에 대한 이해가 선행되어야 가능한 것이다. 결국, 과학개념에 대한 교수학습이 연계성과 체계성을 기반으로 이루어지지 않는다면, 학생들은 단편적 지식에 대한 암기식 학습에 의존할 수밖에 없는 상황에 놓이게 되는 것이다.

실제로 김창곤(2003)의 연구에서는 인문계 고등학교 이과계열 2학년 학생과 3학년 학생 144명을 대상으로 원자 모델, 전자배치 모델의 이해를 묻는 설문조사를 수행하였는데, 종국에 ‘전자구름 모델’을 제대로 설명할 줄 아는 학생이

2) 공교육 정상화 촉진 및 선행교육 규제에 관한 특별법(약칭 : 공교육정상화법) 등

드문 편이라는 결론에 도달하였다. 그는 전자배치와 관련하여 기본이 되는 파울리(Pauli)의 배타원리와 훈트(Hund)의 규칙에 관한 내용도 충실하게 이해하고 있는 학생이 적다는 것을 지적하였고, 이에 대한 원인으로 교과서의 단편적인 내용과 과학과 교육과정의 분절된 구성으로 인한 ‘암기식 학습’ 실태를 지적하였다. 그 밖에도, 과학과 교육과정에서는 양자역학에 관한 내용이 분절적으로 제시되거나, 이와 관련된 내용의 비중이 뉴턴 역학 등 고전역학에 비해 여전히 낮은 편이어서, 학생들이 양자역학에 관한 과학개념과 더불어 이에 관한 이해를 돕는 과학 모델을 체계적으로 배울 기회는 질적으로든 양적으로든 부족한 편이라 하였다(김창곤, 2003). 따라서, 과학교육 학계는 원자 모델과 전자배치 모델 등 양자역학적 개념을 포함하는 과학 모델을 단편적인 이해가 아닌, 다른 과학개념과의 관계망 속에서 체계적으로 이해할 수 있는 학습의 기회를 제공하는 방안을 재고할 필요가 있다.

이와 관련하여, 학생들의 학습경험을 질적으로 개선하는 학습환경을 조성하기 위해서는 교육콘텐츠로서 과학 시뮬레이션이 제안될 수 있을 것이다. 선행연구(Liu et al., 2008; Plass et al., 2012)에 따르면, 과학 시뮬레이션은 추상적인 과학개념 또는 과학 모델의 학습을 도울 수 있으며, 분자 수준의 화학 반응도 실례를 들어가며 명백하게 보여줄 수 있다. 여기에 맥락적 학습환경을 구현하는 증강현실 기술이 추가된다면, 좀 더 다양한 형태의 조작 경험으로부터 학생들의 과학 학습을 지원할 수 있을 것으로 예상된다(de Jong, 2011; Ibáñez et al., 2016). 이때 증강현실을 통해 구현된 과학 시뮬레이션은 다양한 조작 경험을 유도하는 교육적 어포던스가 예상되므로 학생들이 과학개념을 연관 지어가며 과학 모델을 체험할 수 있는 학습의 기회를 제공해줄 수 있을 것으로 기대된다(Ibáñez et al., 2014; Squire & Klopfer, 2007).

요컨대, 본 논문에서는 단편적으로 분절되어 구성된 과학과 교육과정과 실제 학생들의 과학 학습 사이에서 발생하는 괴리를 줄여줄 수 있는 학습 도구로 텐저블 모델 교구와 증강현실 기반 과학 시뮬레이션³⁾을 제안한다. 즉, 중등 과학교육

의 맥락에서 증강현실 기반 과학 시뮬레이션이 추상성 수준이 높은 과학개념과 과학 모델의 학습을 돕는 도구로 활용될 수 있음을 제안하는 것이다. 이러한 제안의 타당성을 살펴보기 위해서는 이들의 형태의 실체를 드러내는 과학 시뮬레이션에 관한 개발 연구가 요구된다.

3. 연구의 목적

전술한 바와 같이, 우리나라 중등 과학교육의 요구로서 (1) 실험 활동을 비롯한 ‘탐구활동’을 한시적으로 대체해야 할 때, 그리고, (2) 추상적인 사고를 요구하는 ‘과학적 개념(또는 과학적 모델)’의 학습에서 학생들의 이해를 돕고자 할 때, 대안적으로 과학 시뮬레이션의 활용 가능성을 기대해볼 수 있다. 이러한 활용 맥락에서 과학 시뮬레이션의 유용성을 높이려면, 향상된 (1) 관찰 경험과 (2) 조작 경험을 유발하는 디자인 특성이 필요할 것이다. 하지만, 시뮬레이션에 관한 선행연구에서는 과학 학습에서 명시적으로 측정 가능한 구인(construct)으로 이어질 수 있는 학습 수행에 관한 디자인에 비해, 교육적 어포던스 차원에서 학습 경험의 질적 수준을 높여주는 디자인 특성에는 크게 주목하지 않았던 편이다 (Rutten et al., 2012). 그로 인해, 과학 학습에서 학생들에게 관찰 경험과 조작 경험을 의도하는 시뮬레이션의 디자인 특성은 거의 알려지지 않았다.

이에, 본 논문에서는 사례연구방법을 통해 과학 시뮬레이션의 개발사례를 들여다봄으로써, 우리나라 중등 과학교육의 요구로서 관찰과 조작 경험을 유발하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 시론적으로 살펴보고자 한다. 이와 관련하여, 본 연구의 목적은 (1) 관찰 경험과 (2) 조작 경험을 유발하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 발굴하는 것이며, 이를 위해 사례연구방법을 통해 그와 관련된 현상(개발 및 평가 결과)에 주목함으로써 정황적 단서(개발 및 평가 과정)를 함께 드러내고자 하는 것이다. 세부적으로, 분석단위를 과학 시뮬레이션의 개발을 위해 제안된 디자인으로 두

3) 본문에서는 이 둘을 함께 묶어 ‘실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션’이라 부를 것이다.

고, 다음과 같이 두 개발사례를 통해 연구의 목적을 달성하고자 하였다.

- 사례 1 : 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션의 개발
- 사례 2 : 실제적 조작 중심 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 개발

이때, 각 사례의 제목에 포함된 실제적 관찰(authentic observation)과 실제적 조작(authentic manipulation)이라는 용어는 교육적 어포던스 차원에서 실제적인 교수학습의 맥락에서 상기한 두 경험을 의도하는 디자인 특성을 지칭하기 위해 자체적으로 정의한 용어임을 우선 밝히고자 한다. 물론 관찰과 조작이 비록 독립된 에피소드에서 획득되는 경험이라 할 수는 없지만, 이러한 두 용어의 구분된 정의는 중등 과학교육에서의 실제적인 교수학습에 특화된 디자인의 의도를 강조하기 위한 것이다. 연구의 관점에서 부연하자면, 두 용어는 과학 교과에 특화된 과학 시뮬레이션의 새로운 활용을 규정하기 위해, 그리고 중등 과학교육을 위한 교육적 어포던스로 이어질 수 있는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 가리키기 위해 정의한 것이라 말할 수 있다. 이러한 지칭 방식에 대한 정당성은 본문에서 다시 논의할 것이다.

4. 용어의 정의

가. 과학 시뮬레이션

시뮬레이션(simulation)이란 흉내 내기(어떤 것처럼 보이게 하기) 또는 모의실험을 뜻하는 사전적 의미로부터 비롯된 용어로, 교육학계에서는 어떤 현실에서 가능한 사태 중 일부를 모의적으로 체험할 수 있게 해주는 소프트웨어를 가리킨다. 선행연구에서는 이것이 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulations)으로 일컬어지기도 하지만 (de Jong, 2011), 본 논문에서는 이것을 구동하는 디바이스(device)를 데스크톱 컴퓨터로 한정하지 않기 위해, 그리고, 다양한 핸드헬드 디바이스(hand-held device)에서의 구동을 고려하기 위해, 단순히 '시뮬레이션'이라 부르는 것이다.

한편, 과학교육에서 시뮬레이션은 학생들이 자연에서 일어나는 어떤 현상이나 반응이 역동적인 일련의 사태임을 인식하게 하거나 그와 관련된 정신 모델(mental model)을 타당하게 형성하게 하는 데 도움을 줄 수 있는 학습 도구로 고려된다(Trundle & Bell, 2010). 본 논문에서는 과학 교과와 관련하여 시뮬레이션이 제공하는 이점이 학습자가 정신 모델을 타당하게 구성하도록 지원하는 상호작용적·모의적 학습환경에 있다고 보았고, 그와 관련된 시뮬레이션 소프트웨어를 ‘과학 시뮬레이션(science simulation)’이라 정의하였다.

나. 교육적 어포던스

어포던스(affordance)란 Gibson (1979)이 제안한 용어로, 인간이 사물에 관한 지식을 기억·추론하지 않더라도 인간의 공통된 지각 특성을 자극하여 행위를 유발하는 것들을 가리키는 용어이다(Norman, 2013). 또한, 어포던스는 인간의 행위를 암묵적으로 유도하는 사물에 내재된 단서(clues) 또는 디자인 특성을 의미하기도 한다(Gibson & Pick, 2000; Hartson, 2003). 어포던스의 개념은 여러 분야의 학자들에 의해 확장되었으며, 그러는 동안 교육적 환경에서의 어포던스를 지칭하는 용어로서 ‘교육적 어포던스(educational affordance)’라는 용어가 사용되기 시작하였다.

교육적 어포던스는 학습맥락 내에서 특정 학습 행동에 대해 그것이 일어날 수 있는 또는 일어나도록 인위적으로 의도된 교육 자원의 특성으로 정의되고 있으며, 교육학적 측면에서의 스캐폴딩(scaffolding)과 인지적 도제(cognitive apprenticeship)를 지원하는 콘텐츠의 특성으로도 확장되고 있다(Bower & Sturman, 2015; Salomon, 1997; Webb, 2005). 본 논문에서는 디자인 측면에서 학습자의 학습경험을 유발하는 특성을 논의하기 위해, 교육적 어포던스라는 용어를 학습경험을 매개하는 학습자의 학습 관련 행동을 유도하는 교육콘텐츠의 기능적 특성으로 여기고자 하였다.

다. 실제적인 교수학습

교수학습(teaching and learning)이란 교사-주도의 가르치는 행위와 학생-주도의 배우는 행위를 포함하는 용어로서, 전형적인 교실에서 교사와 학생 간에 일어나는 교육 행위를 총칭한다. 우리나라 중등 과학교육에서 교수학습은 실험을 비롯한 탐구활동이나 과학 모델에 관한 학습을 포함하는데(강인애 외, 2006; 조혜숙 외, 2017), 학교 실험실 환경의 제약이나 수업시수의 편성 등 사정으로 인해 종종 강의식 수업의 형태로 대체되곤 한다(박현주, 2013). 여기서 문제는 학생들이 직접 자신의 손과 마음을 통해 능동적으로 학습해야 할 대상도 통상 교사에 의한 시범 수업 또는 수동적(passive) 학습으로 대체될 수 있다는 점이다(김명희, 김영신, 2012; de Jong, 2019). 그로 인해 우리나라 중등 과학 수업에서는 학생들이 ‘불충분한 학습경험’을 할 가능성이 항상 존재하게 되는 것이다.

이때 과학교사는 차선의 학습경험을 제공하기 위해 대안적인 교수학습 및 교육콘텐츠를 채택할 수 있다(de Jong, 2019). 이와 관련하여 본 논문에서는 학생들에게 실제적인 학습경험을 제공하기 위해 채택할 수 있는 교수학습으로서, 실제 활동 경험 또는 실제 학습 대상에 다가가기 위해 그러한 목적에 부합하는 교육콘텐츠(또는 학습 도구)를 도입하여 활용하는 교수학습의 형태를 ‘실제적인 교수학습’이라고 정의하였다(Chiu et al., 2015). 실제적인 교수학습을 위한 교육콘텐츠의 예로는 과학 시뮬레이션이 제기될 수 있을 것이다.

한편, 우리나라 중등 과학교육에서 실제적인 교수학습은 주로 과학 수업이 교사의 강의로 진행되는 상황에서 교사가 학생들에게 실제 활동 경험이나 실제 학습 대상을 온전히 전할 수 없을 때 이와 관련된 학습경험 및 학습 이해를 보충하기 위해 도입될 수 있다(Chen et al., 2014; Enyedy et al., 2012). 본 논문에서는 이러한 실제적인 교수학습에서 ‘관찰’이나 ‘조작’ 행위로부터 얻을 수 있는 학습경험 및 학습 이해를 지원하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 제각기 ‘실제적 관찰’과 ‘실제적 조작’이라 정의하였다. 비록 관찰과 조작이 독립적으로 일어나는 사태는 아니지만, 이러한 정의의 구분은 각 행위와 관련된 교육적 어

포던스를 갖게 하는 디자인의 특성을 제각기 논의하기 위해 시도된 것임을 재차 강조하고자 한다.

라. 실제적 관찰

본 논문에서는 더 나은 관찰 경험을 제공하는 과학 시뮬레이션의 개발을 위해 마스크 기능에 기반한 동영상 클립의 삽입을 시도하였고, 이러한 형태의 디자인 특성과 연관되는 과학 시뮬레이션의 교육적 어포던스를 가리키기 위해 ‘실제적 관찰(authentic observation)’이라는 용어를 정의하였다. 실제적 관찰이라는 용어는 실제 탐구활동에서처럼 학생의 조작으로부터 상호작용적으로, 그리고 실험 결과가 실제적인 표상(동영상 클립 등)을 통해 충실성(fidelity) 있게 제시될 때 유발되는 관찰 경험을 가리킨다. 따라서, 실제적 관찰은 과학 시뮬레이션과 같은 교육콘텐츠에서 실험결과가 동영상 클립을 통해 상호작용적으로 충실하게 표현될 때 유발될 수 있는 것이라 할 수 있다.

마. 실제적 조작

본 논문에서는 과학 모델의 학습하는 데 있어서 중요하게 고려해야 할 것으로 (1) 현실세계에서 조작 경험을 지원하는 ‘텐저블 모델 교구’와 (2) 교구를 조작하는 행위를 원래 학습 대상과 이어주는 ‘맥락적 개념연결 매개자(예, 시뮬레이션 형태의 학습 시스템)’로 두었다. 이때, 이 둘의 특성을 포함하는 학습환경에서 더 나은 과학 학습으로 이어지는 교육적 어포던스의 형태를 정형화하기 위해 이와 관련된 학습 도구와 학습행위를 규정하는 새로운 용어의 도입을 시도하였다. 세부적으로, 조작 행위를 돕는 텐저블 모델 교구와 그에 상응하는 실제 학습 대상을 연결 짓도록 돕는 시뮬레이션 형태의 학습 시스템을 통해 과학 모델을 효과적으로 학습하게 하는 교육적 어포던스를 ‘실제적 조작(authentic manipulation)’이라고 정의하였다. 실제적(authentic)이란 용어는 교실의 제약을 고려하면서도 현역 실무자

들의 수행 또는 그들의 주변 환경에 가까운 형태를 형용할 때 사용되어왔지만 (Gilbert, 2004; Kim & Ye, 2015), 사실상 ‘원래 대상(학습 대상)과의 연결의 의미’를 내포하고 있어, 본 정의에도 적합한 것으로 판단하였다.

바. 증강현실

증강현실(augmented reality)은 사용자에게 현실감과 몰입감을 제공하는 영상 기술 그 자체를 가리키는 개념으로 볼 수 있다. 본 논문에서는 증강현실을 현실세계의 장면 위에 가상세계의 표상들을 합성함으로써 디스플레이 위에서 혼합세계를 구현하는 영상 기술을 가리키는 용어로 고려하였다(Azuma, 1997; Milgram & Kishino, 1994). 한편, 본문에서는 비록 중첩된 의미를 내포하더라도, 기술적 차원에서 증강현실을 가리킬 때 이를 명료화하기 위해 종종 ‘증강현실 기술’이라는 표기를 혼용하였다. 이와 관련된 하위 개념으로서, 증강현실 기술로부터 구현된 교육콘텐츠를 지칭할 때에는 ‘증강현실 기반 교육콘텐츠’ 또는 ‘증강현실 콘텐츠’로 표기하였다. 그 밖에, 증강현실을 도입하여 개발한 과학 시뮬레이션에 대해서는 ‘증강현실 기반 과학 시뮬레이션’으로 표기하였다.

사. 텐저블 모델 교구

텐저블(tangible)이라는 표현은 주로 손을 통해 직접 조작(manipulation)해볼 수 있는 교구를 수식할 때 사용되는 표현으로, 교육계에서는 학습 이해를 돕기 위해 고안된 교구가 현실세계 내에서 감각할 수 있는 범위에 있음을 의도하고자 할 때 통용된다(Gillet, 2005). 본 논문에서는 과학적 모델을 나타내는 3차원 표상을 3D프린터를 통해 구현한 것을 ‘텐저블 모델 교구’라 부르고자 하였다.

II. 이론적 배경

1. 과학교육에서 탐구활동과 모델 학습

가. 탐구활동

과학사적 측면에서 바라보면, 과거에는 옳았다고 여겨진 것이 현재는 틀린 것으로 드러나거나, 또는 과거에 가설로 생각했던 것이 현재는 타당한 개념으로 자리 잡는 사례가 흔하게 발견된다. 예컨대, 입자물리학자들이 첨단장비를 이용하여 전자와 원자핵을 비롯한 쿼크(quarks)와 렙톤(leptons), 힉스입자의 존재를 입증함에 따라 ‘쪼개지지 않는 입자’를 지칭했던 ‘원자’의 초기 개념이 더는 옳다고 말할 수 없게 되었다(조현수 외, 2012). 반면, 아인슈타인이 제안한 중력파는 이를 입증하는 증거가 나오고 나서야 비로소 학계에서 타당한 개념으로 인식되기 시작하였다(오정근, 강궁원, 2016). 과학의 역사를 살펴보면, 과학적 지식은 기술이 발달함에 따라 언제든지 변할 수 있으며, 변화하는 과정은 잠정적 보류단계, 사회적 합의 단계를 수반한다는 것을 발견할 수 있다(양일호 외, 2006). 이처럼 과학사에서 드러난 과학의 본성은 오늘날 사람들이 과학 지식이 상대적이고, 가변적일 수 있음을 인식하는 데 영향을 끼쳐왔다.

과학교육 학계는 이처럼 과학사적 사건으로부터 정의된 과학의 다원적인 속성을 ‘과학의 본성(nature of science)’이라 정의하고, 이를 학생들에게 전달하고자 시도하고 있다(Zacharia, 2003). 과학의 본성은 과학 지식을 바라보는 관점, 내재된 믿음, 가치, 그리고 그것을 알아내는 데 필요한 인식론이므로, 단순한 지식으로 여겨서는 안된다(Abd-El-Khalick, Bell, & Lederman, 1998). 대신에, 학생들이 이것을 이해하도록 하는 데에는 탐구에 대한 체험이 필수적이라 말할 수 있다. 탐구란 자연현상을 관찰하고, 그것에 관한 실험을 수행하면서, 그것을 설명할 수 있는 지식체계를 구성하는 일련의 과정을 지칭한다(한유화 외, 2014).

학생들의 탐구활동은 과학의 본성과 관련된 과학에 대한 인식론, 과학자의 태도, 과학자 사회의 규범 등을 체득하는 데 도움이 되는 것으로 알려져 왔다(Zacharia, 2003). 또한, 과학의 본성은 학생들이 민주주의 사회의 성숙한 시민으로 성장하는 데 필요한 소양으로, 또는 예비 과학자들이 과학자 사회에 정착하는데 필요한 규범으로 제기되기도 하였다(박재근, 2017).

이 같은 이유로, 우리나라의 과학과 교육과정은 과학의 본성의 교육적인 가치를 명문화해왔다(교육부, 2015a). 특히 학생들이 탐구활동을 통해 자연현상에 대해 직접 실험을 설계해보고, 관찰한 결과를 수집하여 분석 및 해석해 볼 수 있게 성취기준을 제시해 온 것이다(박재근, 2017). 과학교육 학계에서도 과학과 교육과정의 취지에 부합하여 학생들이 과학의 본성을 성취하도록 촉진하는 방안을 모색해왔는데, 그중 하나가 교육콘텐츠의 혁신이다. 이때 과학의 본성을 이해하고, 과학적인 태도를 길러줄 수 있는 교육적 어포던스를 지닌 교육콘텐츠로 제안되고 있는 후보 중 하나가 바로 ‘시뮬레이션’인 것이다(강명희 외, 2011; Blake & Scanlon, 2007; Webb, 2005).

나. 모델 학습

과학자들은 종종 거시세계에서 일어나는 자연현상에 관한 작동원리를 설명하기 위해 육안으로는 볼 수 없는 미시세계 영역을 상상하며, 그와 관련된 가설적 명제를 포함하는 이론을 만들어내곤 한다(조희형 외, 2014). 어떤 이론은 추상성이 높은 복수의 사실, 법칙, 가설적 명제들로부터 하나의 설명체계를 이루는데, 이들을 명료성을 가진 대상으로 비유함으로써 손쉽게 설명하기 위해 고안된 것이 모델(model)이다(조희형 외, 2014). 조혜숙 등(2017)의 연구에 따르면, 과학 학문의 영역에서 모델은 두 가지 측면으로 정의될 수 있는데, 첫째는 ‘실제 세계의 사실과 속성, 자연적 현상이나 과정의 주요 특징이 드러나도록 계를 추상화·단순화하는 표상’을 지칭하는 것이고, 둘째는 ‘자연현상에서 관찰된 것을 추상적인 개념이나 이론과 연결

하여 구체화한 설명’을 뜻한다. 여기서 중요한 것은 모델이 과학적 현상을 설명하기 위해 이론적 체계를 단순화하여 나타낸 표상이라는 점이다(조혜숙 외, 2017).

모델은 어떤 자연현상을 설명하기 위해 텍스트, 삽화, 애니메이션 등 다양한 표상으로 표현될 수 있으며, 이러한 표상적 특성이 현상의 이해를 돕는다는 점에서 과학교육에서도 강조되고 있다(조혜숙 외, 2017). 하지만, 아무리 모델이라 하더라도, 과학 교수학습에서 다루는 과학 모델은 학생들이 경험하지 못한 세계에 관한 설명체계를 포함하고 있어 이것을 배우는 학생 중 일부는 여전히 어려움을 겪을 수 있다(김창곤, 2003; Tsaparlis & Papaphotis, 2002). 같은 교실에서도 일부 학생들의 인지발달 수준은 그러한 지식을 충분히 이해하는 단계에 이르기에는 부족할 수도 있기 때문이다(노태희 외, 1996; NRC, 1999). 이에 과학교육 학계에서는 과학 모델을 텐저블 교구로 고안하여 폭넓은 인지 수준의 학생들이 이해할만한 학습 도구로서 개발해오기도 하였다(Chen et al., 2011; Gillet et al., 2005). 그중 대표적인 것이 바로 ‘분자 모델’ 교구이다(그림 II-1).



[그림 II-1] 분자 모델 교구 예시
(연구자가 3D프린터를 통해 출력한 모델을 촬영)

텐저블 모델 교구의 예로서, 분자 모델은 2015 개정 과학과 교육과정을 따르는 과학교과서에서도 종종 소개되곤 하는데(노태희 외, 2018, p.139), 이는 직접 손으로 만져보고 조작해보도록 함으로써 학생들의 인지적·정서적 발달을 돕고자 의도하는 것이다(Chen et al., 2011). 그 밖에도, 최근에는 3D프린터의 발달로 인해, 텐저블 모델 교구가 중등 과학교육뿐만 아니라 대학 수준의 전공 화학에 관한 교수학습에서도 활용될 수 있음이 보고된 바 있는데(Casas & Estop, 2015; Higman et al., 2017; Jones & Spencer, 2017; Penny et al., 2017), 이와 관련된 사례들은 텐저블 모델 교구가 추상적·공간적 사고를 요구하는 광범위한 과학 학습에서도 활용될 수 있음을 시사한다. 예컨대, Casas & Estop (2015)의 연구에서는 3D프린터를 통해 제작된 모델 교구로서, 추상적·공간적 사고가 요구되는 화학 결정학(crystallography)의 점군(point group) 학습을 위해 활용될 수 있는 모델 교구를 제안하였다. Higman et al.(2017)의 연구와 Jones & Spencer(2017)의 연구에서도 제각기 3D프린터를 통해 제작된 분자 모델 교구로서, 표면-화학적 반응의 진행에 관한 학습에서 활용될 수 있는 모델 교구를 제안하였다. 그밖에, 텐저블 모델 교구는 오비탈의 혼성화, 거울상 이성질체, 형태 이성질체, 사이클로 헥세인의 의자 뒤집기 등 관련 수업에서도 활용될 수 있을 것이다(Penny et al., 2017). 종합해보면, 텐저블 모델 교구는 학습자의 수준이나 학습 내용에 덜 의존적인 편이며, 인지적·정서적 발달을 위한 학습뿐만 아니라, 나아가 추상적, 공간적 사고를 요구하는 과학 학습에 광범위하게 활용될 수 있는 것이다.

한편, 텐저블 모델 교구를 통한 과학 학습은 단순히 놀이 행위로 끝날 우려가 있어 교사의 도움이 요구된다(Ibáñez et al., 2014). 하지만, 교실 상황에서 모든 학생이 과학개념을 올바르게 이해하도록 지원하는 것은 한 명의 과학교사가 해내기 어려운 일이다(신소연 외, 2018). 이에, 선행연구에서는 학생이 텐저블 모델 교구로부터 실제 이론적 모델을 올바르게 이해하도록 지원하는 ‘교사의 역할을 대행하는 학습지원 시스템’의 필요성을 제기한 바 있다(Casas & Estop, 2015;

Cuendet et al., 2013; Ibáñez et al., 2014). 물론, 텐저블 모델을 독립적인 학습 교구로만 고려하거나, 또는 이것을 학습 시스템의 작동을 위한 종속적인 ‘인터페이스’의 하나로만 고려했던 선행연구 사례는 이미 존재하지만(계보경, 김영수, 2008; Chen et al., 2011), 모델 교구와 학습지원 시스템을 함께 주목하면서 동시에 이들 간 교육적 시너지 효과를 모색하는 연구는 드문 편이었다(Ibáñez et al., 2014).

2. 과학 시뮬레이션의 개념과 교육적 효용

가. 과학 시뮬레이션의 개념

시뮬레이션(simulation)이란 ‘흉내 내기’(어떤 것처럼 보이게 하기) 또는 ‘모의 실험’을 뜻하는 사전적 의미로부터 비롯된 용어로, 교육학계에서는 어떤 현실의 사태를 모의적으로 체험할 수 있게 해주는 소프트웨어를 가리킨다. 선행연구에서 이를 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulations)으로 일컫기도 하나, 본 논문에서는 이러한 소프트웨어가 구동되는 디바이스 환경을 데스크톱 컴퓨터로 한정하지 않기 위해, 그리고, 다양한 핸드헬드 디바이스(hand-held device)에서의 구동을 폭넓게 고려하기 위해 단순히 ‘시뮬레이션’이라 부르는 것이다.

시뮬레이션은 비용이 많이 들거나, 위험한 일, 또는 현실 세계에서 실현 불가능한 일을 모의적으로 체험하기 위한 목적으로 사용되기 때문에, 주로 자연계(natural world)를 모사하여 유래된 모델을 중심으로 작동된다(Balamuralithara & Woods, 2009; de Jong, 2011). 하지만, 시뮬레이션에 포함된 모델은 다음과 같은 이유로 단순화(simplification)되곤 한다(de Jong, 2011). (1) 현실 세계를 그대로 모델로 만드는 것은 불가능에 가까울 정도로 어렵기 때문이다. (2) 모델은 단순화하더라도 그것의 생성 목적을 달성하는 데 충분하므로, 사실적으로 표현하기 위해 시간과 노력을 사용하는 것은 불필요하기 때문이다. (3) 단순화는 학습자의 인지적 부담(cognitive load)을 줄여주기 때문이다. 이처럼 단순화된

모델들로 인해, 시뮬레이션은 과학교육의 맥락에서 학생들의 명시적 지식 또는 절차적 지식을 효과적으로 안내하기 위해 도입되어왔다.

실제로, 과학 수업에서 시뮬레이션은 화학 반응이 일어나는 현상을 단순화된 애니메이션을 통해 상호작용적으로 보여줌으로써 학생들이 과학적인 개념을 명료하게 이해할 수 있게 지원할 수 있음이 알려졌다(Liu et al., 2008). 그 밖에도, 시뮬레이션은 주로 학생들이 미시세계와 관련된 분자의 개념을 올바르게 이해하도록 돕는 표상적 차원에서의 이점을 제공하는 것으로 알려져 있다(de Jong, 2011; Plass et al., 2012). 이러한 이점으로 인해, 과학교육에서 시뮬레이션은 학생들이 어떤 반응이 역동적인 현상임을 인식하게 하거나 그와 관련된 정신 모델(mental model)을 타당하게 형성하게 하는 데 도움을 줄 수 있는 학습 도구로 고려된다(Trundle & Bell, 2010).

본 논문에서는 과학 교과와 관련하여 시뮬레이션이 제공하는 이점이 학습자가 정신 모델을 타당하게 구성하도록 지원하는 상호작용적·모의적 학습환경에 있다고 보았고, 그와 관련된 시뮬레이션 소프트웨어를 ‘과학 시뮬레이션’이라 정의하였다. 하지만, 여기에서는 기존 시뮬레이션의 이점으로 알려진 ‘단순화된 모델’을 더는 과학 시뮬레이션의 필수적인 요소로 두지 않았으며, 대신에 과학 시뮬레이션에서 학생들의 학습경험의 질적 수준을 높이기 위해 다양한 표상이 도입될 여지를 남겨두고자 하였다.

나. 과학 시뮬레이션의 교육적 효용

선행연구에 따르면, 과학 시뮬레이션의 교육적 이점은 최종 사용자로서 (1) 학생 개인, (2) 학생 그룹, (3) 교사의 관점에서 다음과 같이 말할 수 있다. 첫째, ‘학생 개인’에게 과학 시뮬레이션은 수준별 학습을 지원하며, 인지적 도제(cognitive apprenticeship)로서 학습에 관한 스캐폴딩(scaffolding)을 제공해 준다(de Jong, 2006; Plass et al., 2012; Quintana et al., 2009). 이러한 이

점은 과학 시뮬레이션의 '상호작용적 특성'으로부터 비롯되는 것으로, 학습자의 수준과 학습맥락을 인식함으로써 그에 상응하는 정보를 수준별로 제공할 수 있어 기대할 수 있는 것이다(de Jong, 2019). 둘째, '학생 그룹'에 과학 시뮬레이션은 개인별 학습을 지원하며, 한 교실 내에서도 비동시적으로 과학개념을 학습할 기회를 제공해준다. 이러한 이점은 과학 시뮬레이션의 '개별성'으로부터 비롯되는 것으로, 기존 교실문화와는 달리 학생들이 직접 능동적으로 참여해야만 학습이 진행되기 때문에 기대할 수 있는 것이다. 이로써, 과학 시뮬레이션은 과학 수업에서 학생들이 원하는 시간에 원하는 속도로 학습에 참여하도록 지원하는 학습환경의 한 부분이 되기도 한다(de Jong, 2019; Lai et al., 2007; Wong et al., 2015). 셋째, '교사'에게 과학 시뮬레이션은 기계적인 정보전달자의 역할을 덜어주며, 또한 교실 내 소통의 병목현상을 제거함으로써 교사가 학생들과 개별적인 상호작용을 할 수 있는 여유를 마련해준다(Rutten et al., 2012). 이러한 이점은 과학 시뮬레이션이 일종의 '가상적 튜터'로서 역할을 대행할 수 있어서 기대할 수 있는 것이다.

그 밖에도, 과학 시뮬레이션은 과학개념의 이해를 돕는 표상으로, 과학 수업에서 학생들이 미시적 세계의 현상 및 그것과 관련된 과정을 자세히 들여다볼 수 있도록 시각화된 정보를 효과적으로 제공할 수 있다(de Jong, 2006; Kim & Ye, 2015; Liu et al., 2008; Plass et al., 2012).

3. 증강현실의 개념과 과학교육적 활용

가. 증강현실의 개념과 특징

증강현실은 사용자에게 현실감과 몰입감을 제공하는 영상 기술에 관한 개념이며, 현실세계의 장면 위에 가상세계의 요소를 삽입하여 만든 혼합 세계에 관한 기술로 정의된다(Azuma, 1997; Milgram & Kishino, 1994). 초기에 증강현실의 개념을 확립한 Azuma(1997)는 이것의 주요 특징을 형식, 인터페이스, 표상

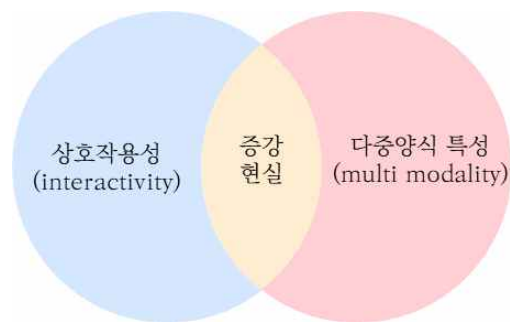
차원에서 제안하였다(Schmalstieg & Hollerer, 2016). 형식 차원에서 살펴보면, 증강현실은 실제적 요소와 가상적 요소를 결합하는 기술이다. 인터페이스 차원에서 살펴보면, 증강현실은 실시간 상호작용을 지원하는 기술이다. 표상 차원에서 살펴보면, 증강현실은 객체가 3D(three dimensional space)로 표현되도록 하는 기술이다. 이러한 특징은 가상세계 및 시뮬레이션과 맞닿아있는 것이므로, 결국 증강현실은 두 가지 성격을 고루 갖춘 융합적인 콘텐츠 기술이라 할 수 있다.

가상세계는 증강현실과 마찬가지로 인터페이스와 표상 차원의 요소를 공통으로 갖지만, 반면에, 현실과 동떨어진 인위적인 환경이라는 점에서 증강현실과 구분된다. 증강현실은 현실세계의 장면 위에 가상세계의 형식적 특성이 더해져, 시각 정보를 맥락적으로 제시할 수 있다(Liou et al., 2017). 이러한 성격은 Milgram과 Keshino (1994)가 제안한 도표에서 잘 드러나는데, 그들은 현실세계와 가상세계 사이에 연속된 다리를 그린 다음, 증강현실의 위치를 [그림 II-2]처럼 현실세계에 가깝게 표시하였다. 그 이유는 가상세계가 사람들의 인지구조로 해석된 기호와 표상을 중심으로 만들어진 인위적인 환경인데 반해, 증강현실은 실제적 장면을 중심으로 이해를 돕거나 행위를 안내하기 위한 요소가 부가적으로 삽입된 환경에 해당하기 때문이다. 이러한 성격으로 인해, 증강현실은 교실처럼 한정된 공간에서도 실제 삶의 맥락과 연결될 수 있는 학습경험을 제공하는 콘텐츠 기술로(Akçayir et al. 2016; Liou et al., 2017), 또는 그와 관련된 학습환경의 한 요소로 제안되고 있다(Wong et al., 2015). 이 기술은 비교적 적은 예산으로도 전통적인 교실 환경을 실제적인 학습이 일어나는 장으로 만들 수 있어 교육연구자들로부터 더욱 주목받고 있다.



[그림 II-2] 가상세계 환경의 연속성
(Milgram & Kishino, 1994, p.1321.)

시뮬레이션은 가상적 표상을 중심으로 구성된 상호작용성(interactivity)을 내재한 콘텐츠에 해당한다. 반면, 증강현실은 시뮬레이션의 상호작용성뿐만 아니라 다중양식 특성(multimodality)도 가지고 있어 시뮬레이션의 확장된 형태로 여겨지며, 특히, 다중감각에 관한 입력 센서와 출력 디스플레이를 통해 구현될 수 있다는 점이 추가된다(김정현 외, 2005; Schmalstieg & Hollerer, 2016). 증강현실의 주요 특성은 상호작용성과 다중양식 특성을 중심으로 아래 [그림 II-3]과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 II-3] 증강현실의 두 가지 특성

상호작용성은 학습이 일어나는 동안 학습자의 행위에 상응하는 멀티미디어 기반 메시지가 옵션 목록에서 채택되어 사용자에게 제공되는 특성을 가리킨다(Moreno & Mayer, 2007). 이러한 특성은 학습자의 학습 행동과는 상관없이 보여줄 내용이 미리 결정되었던 비-상호작용성 전통 매체와는 대조되는 특성으로, 점차 이러닝 콘텐츠의 보편적인 특성으로 자리를 잡고 있다(Moreno & Mayer, 2007). 상호작용성의 수준은 학습자의 행위를 다채로운 방식으로 인식할수록, 그리고 그것에 대응하는 옵션의 목록을 많이 가질수록 높아지는 것으로 간주된다(황윤자, 2013). 증강현실은 학습자가 의식적으로 선택하는 행위를 입력받는 것뿐만 아니라 학습자가 의식하지 못하는 움직임을 인식하여 학습맥락에 들어맞는 정보를 적재적소 제공하기 때문에, 높은 상호작용성을 갖는 것으로 볼 수 있다(이지수 외, 2010).

다중양식 특성은 하나의 언어적·비언어적 정보에 대해 두 가지 이상의 감각기관(또는 센서)을 통해 입력받거나 출력하는 특성을 총칭하는 용어이다(Moreno & Mayer, 2007). 여기서 다중양식적 입력은 다양한 센서 및 시각적 인식기술을 활용하여 학습자의 맥락과 환경을 감지하는 방식을 가리키며, 다중양식적 출력은 한 사태에 관한 정보를 학습자가 두 가지 이상의 감각을 통해 지각하도록 제시하는 방식을 가리킨다. 증강현실은 다중양식적 입력에 기반을 두고 맥락을 인식하며, 동시에 시각과 청각에 관한 정보를 이미 주어진 실제 세계의 감각(촉각, 후각, 미각)에 더하여 제공하기 때문에, 높은 다중양식 특성을 갖는다고 할 수 있다.

요컨대, 증강현실은 높은 상호작용성과 다중양식 특성을 갖는 콘텐츠에 적합한 기술로 볼 수 있다. 이처럼 두 가지 특성을 고루 갖춘 ‘증강현실 콘텐츠’를 구현하려면, 아래 [그림 II-4]와 같이 (1) 실시간 정보입력 기술, (2) 배열에 관한 정보처리 기술, (3) 디스플레이에 관한 시각화 기술이 요구되는 것으로 알려져 있다(김정현 외, 2005; 정연화, 이정민, 2015; Schmalstieg & Hollerer, 2016).



[그림 II-4] 증강현실의 구현을 위한 기술

(1) 실시간 정보입력 기술은 사용자의 위치, 응시 방향, 접촉하거나 조작하는 대상을 실시간으로 추적할 수 있는 기술이다. (2) 배열에 관한 정보처리 기술은 입력된 정보를 기반으로 실제 세계의 정보들을 가상적인 정보 요소와 결합하여 자연스럽게 나타내는 기술이다. (3) 디스플레이에 관한 시각화 기술은 현실세계와 가상세계의 정보가 혼합되어 새롭게 연출된 장면을 실감 나게 보여줄 수 있는 기술이다(김정현 외, 2005).

나. 과학교육에서 증강현실의 용례

과학교육에 관한 증강현실 연구 문헌들은 <표 II-1>과 같이 다음의 다섯 가지 용례를 중심으로 분류할 수 있다: 1) 모델체험, 2) 탐구활동 안내, 3) 현장 체험 학습 지원, 4) 체화된 인지학습 지원, 5) 인지적 도구 지원. 이러한 구분을 중심으로 과학교육 선행연구 문헌에서 알려진 증강현실의 활용사례 및 예상되는 교육적 효용을 정리해보면, 다음과 같다(이창운 외, 2019).

1) 모델 체험

과학교육에서 모델은 보이는 세계와 보이지 않는 세계를 연결 짓는 도구로 사용된다. 예컨대, 화학교육에서 모델은 거시세계에서 일어나는 사태와 미시세계의 양자역학적 작동원리를 매개하는 도구로 활용될 수 있다(이창운 외, 2018). 생물교육에서 모델은 살아있는 생명체의 유기적 활동을 방해하지 않고, 그들의 소기관의 기능과 특징을 설명하기 위해 활용될 수 있다(류혜주, 박현우, 2017). 지구과학교육에서는 장시간에 일어나는 행성의 운동을, 물리교육에서는 순간적으로 일어나는 현상을 이론과 함께 설명하기 위해 도입될 수 있다(고영남, 김종우, 2012). 이렇듯 모델은 과학적 지식을 언어적·시각적으로 표현하는 데 있어 널리 사용되고 있다. 특히, 시각적 모델은 중등 과학교육에서 학생들의 과학에 관한 추상적인 사고를 돕는 데 활용되고 있다. 중·고등학교 과학교과서는 시각적 모델을 통해 학생들의 이해를 돕고자 과학적 개념과 이론들을 그들의 인지발달 수준에 적합한 형태로 제시해왔다. 그런데도 일부 학생들은 교과서 중심의 과학수업에서 낮은 학업성취를 보이다가 결국 과학 학습을 포기하는 사태에 이르곤 한다. 이 때문에 일부 과학교육 연구자들은 학생들이 과학적 지식을 올바르게 이해하도록 돕기 위해 시각적 모델의 개선 및 표상의 이점을 극대화하는 방안을 모색해왔으며, 그들 중 하나는 시뮬레이션의 도입이었다.

〈표 II -1〉 과학교육에서 수행된 증강현실에 관한 문헌들

| 연구자 | 연도 | 출판 장소 | 학술지 영역 | 증강현실 활용 | 연구 대상 | 구인 | 교육적 효과 |
|----------------|-------|----------|-----------|----------|----------|----------------------------------|------------|
| Chiu et al. | 2015 | 국외 | 교육공학 | 모델 체험 | 중등교육 | 지식습득 | 정량적 긍정 |
| Liou et al. | 2017 | 국외 | 교육공학 | 모델 체험 | 초등교육 | 지식습득, 인지 부하 | 정성적 긍정 |
| 계보경 외 | 2008 | 국내 | 교육공학 | 모델 체험 | 초등교육 | 지식습득 | 정량적 긍정 |
| 고영남 외 | 2012 | 국내 | 교육공학 | 모델 체험 | 초등교육 | 동기설계구인, 지식습득, 학습 태도(과학적 태도) 등 | 정량적 (부분)긍정 |
| 류혜주 외 | 2017 | 국내 | 과학교육 | 모델 체험 | 초등교육 | 지식습득, 학습흥미, 학습참여 등 | 정성적 긍정 |
| 김경현 | 2009 | 국내 | 교육공학 | 모델 체험 | 초등교육 | 학습집중, 학습참여, 학습분위기 | 정량적 (부분)긍정 |
| 정연화 외 | 2015 | 국내 | 교육공학 | 모델 체험 | 중등교육 | 과학적 태도, 학습집중(몰입) | 정량적 긍정 |
| Akçayir et al. | 2016 | 국외 | 교육공학 | 탐구활동 안내 | 대학생/성인 | 실험실 역량 등 | 정량적 긍정 |
| Chang et al. | 2018 | 국외 | 교육공학 | 탐구활동 안내 | 초등교육 | 협력적 수행, 동기설계구인, 비판적 사고, 그룹 효능감 | 정량적 긍정 |
| 이지수 외 | 2010 | 국내 | 교육공학 | 탐구활동 안내 | 초등교육 | 지식습득, 동기설계구인 | 정량적 긍정 |
| Ibáñez et al. | 2016 | 국외 | 교육공학 | 탐구활동 안내 | 중등교육 | 행동 패턴, 지식습득 | 정성적 긍정 |
| Chang et al. | 2018 | 국외 | 과학교육 | 현장 체험학습 | 중등교육 | 사회과학적 추론(SSR), 사회과학적 추론 태도(ASSR) | 정량적 (부분)긍정 |
| Chiang et al. | 2014a | 국외 | 교육공학 | 현장 체험학습 | 초등교육 | 지식습득, 동기설계구인, 인지 부하 | 정량적 긍정 |
| Chiang et al. | 2014b | 국외 | 교육공학 | 현장 체험학습 | 초등교육 | 협력적 수행(지식 공유 등) | 정성적 긍정 |
| Salmi et al. | 2017 | 국외 | 과학교육 | 현장 체험학습 | 초등교육 | 지식습득 등 | 정량적 긍정 |
| Yoon et al. | 2012 | 국외 | 교육공학 | 현장 체험학습 | 중등교육 | 지식습득 | 정성적 긍정 |
| Hsiao et al. | 2012 | 국외 | 교육공학 | 체화된 인지학습 | 중등교육 | 지식습득, 신체 운동, 학습 태도, 학습흥미 등 | 정성적 (부분)긍정 |
| Enyedy et al. | 2012 | 국외 | 교육공학 | 체화된 인지학습 | 초등교육 | 지식습득, 학습태도 등 | 정성적 긍정 |
| Chen et al. | 2016 | 국외 | 교육공학 | 인지적 도구지원 | 초등교육 | 지식습득, 동기설계구인 | 정량적 긍정 |

* '정량적 부정'은 통계적으로 유의한 결론에 도달하지 못한 경우를 지칭하는 것임.

시뮬레이션은 추상적인 과학적 지식을 동적인 표상으로 제공할 수 있으며, 나아가 사용자의 조작에 상응하는 정보를 상호작용적으로 제시할 수 있다. 이로 인해 시뮬레이션은 과학교육에서 대안적 콘텐츠로 제기된 바 있다(이창윤 외, 2018). 최근에는 다중표상적 특성과 상황인식 기술을 더한 시뮬레이션의 한 형태로서, 증강현실 콘텐츠가 기존 시뮬레이션을 적용했던 교수학습 맥락에서 도입되면서 추가적인 이점이 논의되고 있다. 모델 체험을 위한 증강현실의 도입사례도 그중 하나이며, 이와 관련하여 국외·국내 연구사례는 다음과 같이 알려졌다.

해외 사례로, Chiu et al.(2015)는 학생들이 기체 모델과 실생활 현상을 연결 짓도록 돕기 위해 시각적 모델을 상호작용적으로 조작할 수 있는 시뮬레이션의 하나로 증강현실 콘텐츠를 도입하였다. 중학교 2학년 학생 45명(집단구분 없음)을 대상으로 적용한 후 교육적 효과를 정성적으로 조사한 결과, 0.91의 높은 효과 크기로 학생들이 기체에 대한 이해가 증가했음을 확인하였다. Liou et al.(2017)은 달의 운동에 관한 학습에서 가상현실과 증강현실 콘텐츠를 통해 제공되는 표상이 인지적 학습효과에 어떤 영향을 주는지에 초점을 두고 교육연구를 수행하였다. 그들의 연구는 초등학교 4학년 학생 54명을 대상으로 복잡한 실제 세계의 표상과 함께 제공되는 증강현실과 비교적 단순한 표상으로 구성된 가상현실의 콘텐츠 간 학습효과 및 인지적 부담을 조사하는 데 초점을 두었다. 연구 결과, 그들은 학생들의 응답으로부터 증강현실의 인지 부하가 비교적 적은 것으로 결론을 내렸으며, 학업성취도 측면에서도 증강현실 콘텐츠를 사용한 집단이 가상현실을 사용한 집단보다 높다는 것을 확인하였다.

국내 연구사례로, 계보경과 김영수(2008)는 KERIS에서 개발한 ‘물의 순환’에 관한 증강현실 콘텐츠를 통해 물의 순환과정에서 일어나는 현상의 모델을 역동적인 애니메이션으로 표현함으로써 몰입감을 주고자 하였고, 텍스트를 통해 안내함으로써 현상의 이해를 돕고자 하였다. 그들의 연구에서 경기도에 소재한 2개 초등학교의 5학년 학생 290명에게 적용한 결과, 증강현실 콘텐츠의 매체특성은 학생들의 현존감 및 학습몰입을 매개로 만족도와 지식습득에 기여하는 것으

로 나타났다. 고영남과 김종우(2012)의 연구에서도 ‘지구와 달’ 단원에 대한 증강현실 콘텐츠를 초등학교 5학년 학생 69명(처치 35명, 통제 34명)에 적용한 결과, 처치집단 학생들에게서 정서적·태도적 향상이 유의하게 나타남을 확인하였다($p < .05$). 두 연구에서 모두 증강현실 콘텐츠를 활용하여 모델을 체험한 집단에서 정서적 향상 효과가 나타났었던 반면, 지식습득과 관련된 인지적 향상 효과는 발견되지 않았다.

이어서 ‘우리 몸’에 관한 단원에 초점을 두고 수행된 세 연구를 통해 증강현실 기반 모델 체험의 교육적 이점을 탐색해보았다. 우선, 류혜주와 박현우(2017)는 우리 몸 단원에서 우리 몸을 구성하는 소화기관, 호흡기관, 순환기관, 배설기관, 중추신경계에 대한 시각적 표상을 실제 보이는 세계의 영역에서 표현하고자 증강현실 콘텐츠를 사용하였다. 그들의 연구에서 초등학교 5학년 학생 24명을 대상으로 수업을 실행한 결과, 증강현실을 통해 과학 모델을 경험한 학생들은 학습 흥미, 수업 참여 측면에서 향상이 있었음을 보고하였다. 마찬가지로, 김경현(2009)의 연구도 우리 몸 단원에 초점을 두고 초등학교 6학년 학생 50명(처치 25명, 통제 25명)을 대상으로 증강현실 콘텐츠를 적용하였다. 그 결과 처치반 학생들에게 언어적 능동성과 수업 분위기 측면에서는 유의미한 향상이 나타났으나($p < .05$), 반면, 행동적 능동성과 학습집중도(학습집중/몰입의 일종) 측면에서는 향상이 유의하게 나타나지는 않았다. 한편, 정연화와 이정민(2015)은 초등학교가 아닌, 중학교 과학에 포함된 우리 몸 단원의 교수학습에서 증강현실 콘텐츠를 도입하여 중학교 2학년 학생 92명(처치 48명, 통제 44명)에게 적용하였다. 그 결과, 학습몰입과 함께 과학적 태도에서 유의한 향상이 나타났었던 반면에($p < .05$), 과학탐구능력(지식습득의 일종)에서는 유의한 향상이 나타나지 않았다.

요컨대, 이들 연구에서는 과학 교실에서 과학적 모델을 체험하는 데 있어서 증강현실의 용례와 활용 가능성을 보여준다. 비록 지식습득과 학습집중/몰입에 관한 일부 구인에서 검사결과가 통계적으로 유의하지 않았던 경우도 있었지만, 학습 흥미, 학습 참여, 수업 분위기에서 유의한 향상이 나타난 것은 이러한 구인

이 모델체험에 관한 증강현실의 용례에서 명백한 교육적 이점이 될 수 있음을 보여준다.

2) 탐구활동 안내

과학교육은 문제를 과학적 방식에 근거하여 해결하거나, 과학 지식을 새롭게 구성하는 데 있어 요구되는 과정으로 탐구를 강조해왔다. 학생 수준에서 탐구는 주로 어떤 현상의 원인을 지목하기 위해 변인을 조작하거나 통제하여 재현 가능한 설명체계를 만드는 데 초점을 두는 일련의 행위로 규정된다. 이와 관련하여, 과학과 교육과정은 탐구를 위해 필요한 도구를 학생들이 지침에 따라 올바르게 사용하도록 가르치고자 교과서 내에 ‘탐구활동’을 제시해왔다. 여기서 중요한 점은 학생들이 탐구 수행을 위해 사용해야 하는 도구에는 종종 강한 산/염기, 알코올램프와 같은 위험한 도구도 포함된다는 것이다. 이 때문에 안전사고의 예방을 위해 교사의 세심한 지도가 필요하다(이창윤 외, 2018). 그 밖에도 교사의 지도는 학생들이 현상을 심도 있게 관찰하거나, 자료를 타당하게 구성하는 데 있어서 중요하다(김정수, 2018). 따라서, 실험실에서 교사가 학생들의 탐구를 충분히 지도하려면, 인지적 도제와 같은 가까운 위치에서 그들의 행위를 지켜보고 피드백해주는 교수 방법이 필요하다.

하지만, 전통적인 과학 교실에서 교사 1인이 이처럼 수많은 학생을 대상으로 탐구를 지도하는 것은 소통의 병목현상을 발생시킬지도 모른다. 현재 과학 교실은 수업에 참여하는 학생이 20명이 넘기 때문에, 지금처럼 교실 내 관계망의 중심을 교사 1인으로 둘 경우, 결국 탐구에 관한 교수학습은 형식적인 활동일 수밖에 없는 것이다. 이러한 상황에서 과학교육 학계에서는 탐구를 안내하는 튜터이자 교사의 스케폴딩을 대체할만한 콘텐츠 후보로 시뮬레이션이 제안된 바 있다. 최근에는 시뮬레이션의 하나로, 맥락적으로 탐구를 안내할 수 있는 증강현실 콘텐츠가 더욱 주목받고 있으며, 이것은 이미 탐구를 안내하는 목적으로 교육연구에 도입된 사례가 있다. 이와 관련하여 국외·국내 연구사례는 다음과 같이 알

려졌다.

국외 사례로, Akçayir et al.(2016)의 연구에서는 물리학 실험에서 탐구를 안내하기 위해 증강현실 콘텐츠를 개발하였고, 일반물리학 실험2 수업에서 대학교 1학년 학생 76명(처치 38명, 대조 38명)를 대상으로 적용한 바 있다. 그들의 증강현실 콘텐츠는 총 5개의 서로 다른 물리학 실험 콘텐츠로 구성 및 제작되었으며, 각 차시 과제에 해당하는 탐구에서 학생들이 수행해야 할 탐구내용을 안내하도록 설계되었다. 실제로 학생들에게 적용한 결과, 증강현실 콘텐츠로부터 탐구를 안내받은 학생들은 실험실 기술과 태도적 측면이 향상된 것으로 나타났다. 또한, 사후 인터뷰에서 학생들은 탐구의 과정을 이해하는 데 있어 증강현실의 유용성을 경험하였다고 응답하기도 하였다. 한편, Chang과 Hwang(2018)의 연구에서는 플립러닝에서 동영상 콘텐츠를 통한 탐구활동 안내의 한계를 극복하고자 대안적 콘텐츠로 증강현실 콘텐츠를 도입하였고, 그것의 교육적 효과를 조사하였다. 플립러닝의 탐구활동을 안내하는 데 있어서 기존 동영상 콘텐츠와 대조되는 증강현실 콘텐츠의 이점을 조사하고자, 초등학교 5학년 학생 111명(처치 56명, 통제 55명)을 대상으로 연구를 수행하였다. 그 결과, 증강현실 콘텐츠를 사용한 반에서 학습 동기, 비판적 사고 경향, 자기효능감의 향상이 유의하게 나타났다. 하지만, 지식습득 측면에서 유의미한 향상은 나타나지 않았다.

국내 사례로, 이지수 등(2010)의 연구에서는 초등학교 과학의 ‘전기 회로도’ 단원에서 실험실 탐구를 안내하기 위해 증강현실 콘텐츠를 도입하였다. 서울시에 소재한 초등학교 5학년 학생 30명(처치 15명, 통제 15명)을 대상으로 연구한 결과, 처치반 학생들의 지식습득과 동기설계구인(ARCS)에 관한 검사에서 유의한 향상이 나타났다($p < .05$).

이처럼 선행연구들은 다양한 상황에서 탐구를 안내하는 데 있어 증강현실의 효용을 보여준다. 하지만 이들 연구의 결과가 긍정적일지라도, 증강현실 콘텐츠가 완전히 교사의 학습지원을 대체할 수 있는 것은 아니다. Ibáñez et al.(2016)의 연구에 따르면, 탐구안내를 목적으로 증강현실 콘텐츠를 도입한 맥

락에서도 교수자가 조금이나마 개입하여 학생들의 학습을 스캐폴딩 하는 것이 학업성취와 행동 패턴에 긍정적인 영향을 준다고 볼 수 있다. 세부적으로, 그들의 연구에서 중학교 3학년(9학년) 학생 72명(처치 32명, 통제 40명)을 대상으로 연구한 결과, 증강현실 콘텐츠로부터 탐구를 안내받는 상황에서도 교사의 학습 지원을 받았던 처치반에서 학업성취의 유의미한 향상이 나타났고, 행동 패턴의 측면에서도 처치반 학생들이 실험 수행 전에 교과 지식을 읽어보는 경향이 더욱 빈도 높게 나타났다. 이들의 연구는 탐구를 안내하는 데 있어서 증강현실 콘텐츠와 교사의 역할이 서로 상호보완적일 수 있음을 암시한다.

결과적으로, 이들의 연구에서 증강현실 콘텐츠는 탐구 수업에서 과학교사의 역할을 보완하는 가상의 튜터로 효용을 인정받고 있었다. 게다가, 증강현실 콘텐츠는 플립러닝과 같은 특수한 환경에서도 탐구안내에 관한 동영상 콘텐츠를 대체할 후보로 제기되고 있었다. 이들의 연구에서 나타난 정서적, 태도적 측면에서의 긍정적인 효과는 탐구를 안내하는 데 있어서 증강현실의 교육적 이점과 활용 가능성을 보여준다. 하지만, 이러한 증강현실 콘텐츠의 활용이 학생들의 지식습득을 촉진하는지를 확신하기까지는 추가적인 후속연구가 필요할 것으로 보인다.

3) 현장 체험학습 지원

현장 체험학습은 교실 밖에서 실제 상황이나 실물을 접하며 직접 보고 느끼는 학습으로 정의되며, 교실 안 학습의 연장선에서 일어나는 끊김없는 학습(seamless learning)의 한 형태이다. 끊김없는 학습은 교육공학계에서 유래한 일종의 프레임워크로, 학교 안에서 일어나는 교수학습뿐만 아니라, 언제 어디서나 일어날 수 있는 학습에 주목한 연구 영역의 하나로 자리를 잡고 있다(Wong et al. 2015). 이러한 영역의 연구자들은 주로 테크놀로지를 매개로 하여 언제든지 어떤 장소에서든 발생할 수 있는 학습 간에 연결고리를 만들고자 노력해왔다. 과학 학습도 학교 안과 밖에서 모두 일어날 수 있어, 그들로부터 관심을 받고 있다. 과학교육에서 시도된 끊김없는 학습 연구의 한 형태에는 현장 체험학

습을 지원하기 위해 증강현실 콘텐츠를 도입했던 연구사례가 포함될 수 있다. 이와 관련된 연구사례는 국외 연구자들에 의해 다음과 같이 알려졌다.

예컨대, Chang et al.(2018)의 연구에서는 사회과학적 이슈(socio-scientific issue)를 다루는 교수학습에 초점을 두고, 고등학교 2학년 학생 68명(단일 집단)을 대상으로 학생들의 야외활동을 촉진하기 위해 증강현실 콘텐츠를 도입하였다. 그들의 연구에서 학생들은 증강현실 콘텐츠를 이용하여 학교 근처 야외 환경에서 가상의 방사선량 값을 수집한 다음, 문제해결 방안을 모색하는 활동을 수행하였다. 이와 관련하여, 단일집단 사전-사후 검사를 통해, 야외활동에서 증강현실 콘텐츠를 체험한 학생들의 학업성취의 유의한 향상을 확인하였다($p < .001$). 인지적, 정서적 참여 및 SSI 추론 태도에 관한 검사에서는 약간의 감소가 나타났지만, 그들의 연구에서는 점수의 평균 및 분포로부터 사후 검사의 결과도 경로분석을 통해 긍정적 결론을 도출하였다. 유사한 용례를 보여주는 연구로, Chiang et al.(2014a)의 연구에서도 실험실이 아닌, 교실 밖 야외에서 탐구활동을 촉진하기 위해 초등학교 4학년 학생 57명(처치 28명, 통제 29명)을 대상으로 증강현실 콘텐츠의 교육적 효용을 조사하였다. 특히, 그들은 참여 학생들을 증강현실 모바일 콘텐츠를 사용하는 집단과 단순 정보만 제시해주는 모바일 콘텐츠를 사용하는 집단으로 구분함으로써, 야외 탐구활동에서 증강현실 콘텐츠의 교육적 효과를 조사하였다. 그 결과, 증강현실 모바일 콘텐츠를 경험한 학생들에게서 지식습득 및 동기설계구인(ARCS) 중 주의집중, 관련성, 자신감(ARC) 점수가 더 높게 나타났다($p < .05$).

한편, 현장 체험학습은 과학센터·과학관과 같은 외부 교육기관에서도 일어나는데, 그곳에서도 증강현실은 전시물의 체험으로부터 교육적 효과를 높이하고자 도입되고 있다. 이와 관련하여, Salmi et al.(2017)의 연구에서는 비형식 학습환경에 해당하는 과학센터(science centres)에 초점을 두고, 전시 중인 증강현실 콘텐츠의 교육적 효과를 조사하였으며, 이를 위해 11-13세 학생 146명을 대상으로 사전-사후 검사를 실시하였다. 이들의 연구결과에서 주목할만한 내용은, 참여

학생들의 사전 검사에서는 성별과 학업성취 사이에서 유의미한 차이가 나타났던 반면, 사후 검사에서는 이러한 차이가 사라졌다는 것이다. 또한, 사전 검사에서 참여학생들의 원래 학업성취수준과 과학센터에서 실시한 사전 학업성취도 점수에는 유의미한 차이가 있었으나, 사후에는 그러한 차이가 나타나지 않았다. 경로 분석을 통해 확인한 결과, 증강현실 콘텐츠는 남학생과 학업성취가 높은 학생들에게는 새로운 학습경험으로 다가갔으며, 여학생과 낮은 학생들에게는 중도에 학습을 포기하지 않도록 동기 부여해주는 조력자 역할을 하는 것으로 설명될 수 있었다. 유사한 용례를 보여주는 연구로, Yoon et al.(2012)의 연구에서는 과학관(science museum)에 방문한 6-8학년 학생 119명을 대상으로 증강현실 콘텐츠의 사용과 지식 구축(knowledge building)에 관한 스케폴딩 여부에 따른 4가지 학습환경에 대한 교육적 효과를 비교하였다. 그 결과, 증강현실 콘텐츠의 사용과 지식구축에 관한 스케폴딩의 교육적 효과를 각각 확인하였으며, 둘을 함께 제공되는 학습환경이 유익할 것으로 결론을 내렸다.

최근 과학교육 연구자들은 학생들에게 실제적인 탐구를 체험하도록 기회를 제공하고자, 교실 밖 야외환경과 가까운 지역에 설립된 과학관, 과학센터도 과학 학습이 일어날 수 있는 장소로 고려하고 있다. 앞서 살펴본 선행연구에 따르면, 증강현실은 야외현장에서 과학 학습에 관한 현장 체험학습을 지원하는 대안적 자원으로 활용될 수 있다. 물론 이러한 증강현실 콘텐츠의 용례는 탐구 안내에 관한 활용과 겹치는 부분이 있긴 하나, 야외 학습 및 현장 체험학습에 특화된 영역으로 발전할 가능성을 보여준다.

4) 체화된 인지학습 지원

체화된 인지(embodied cognition) 이론은 ‘연장된 마음(extended mind)’과 ‘연장된 인지(extended cognition)’를 탐색하려는 학자들의 철학적 논의를 기반으로 발달된 이론이며, 데카르트의 심신이원론으로부터 출발하여 인지과학, 심리학, 신경과학, 교육학 차원에서 인지와 육체 사이의 관계를 탐구하는 융합적

학문으로 자리를 잡았다(김지현 외, 2018). 이 이론은 오늘날 자기공명영상 기술의 발달로 인해 신경과학 분야 과학자들이 육체의 움직임이 인지와 정서의 변화에 어떤 영향을 주는지를 실증적으로 밝히면서부터 더욱 주목받게 되었다. 과학 교육 학계에서도 이 이론에 기반을 두고, 육체적 행위와 과학 개념의 이해 사이의 관계를 규명하고자 시도해왔다. 이어서 소개할 두 국외 연구사례는 과학교육에서 체화된 인지학습을 위한 증강현실의 활용 가능성을 보여준다.

예컨대, Enyedy et al.(2012)의 연구에서는 몸을 이용하는 놀이를 통해 물리학의 힘, 마찰력 등 개념을 이해시키고자 초등학교 1-2학년 학생 43명(단일집단)에게 증강현실 콘텐츠를 도입하였다. 이때, 학생들은 놀이 과정에서 움직이는 공의 역할을 맡은 한 학생의 움직임으로부터 체화된 예상(embodied prediction)을 한 다음, 증강현실 콘텐츠를 통해 인지 갈등을 해소하는 쪽으로 학습하였다. 단일집단 사전-사후 검사를 시행한 결과, 학생들은 힘과 알짜힘, 마찰력, 2차원 운동에 대한 개념 이해가 향상된 것으로 나타났다. 특히, 학습놀이 과정에서 증강현실을 경험했을 때, 학생들이 이해한 개념은 힘과 운동 개념은 더 높은 수준의 학생들이 이해할 수 있는 것으로 여겨진다. 실험 설계상 결과를 해석하는 데 있어서 주의가 필요하지만, 중요한 것은 증강현실이 육체적 행위로부터 과학 학습을 촉진하는 데 있어서 매개 도구(mediating artifact)로 활용 가치가 드러난다는 점이다.

한편, 체화된 인지를 목적으로 시도한 것은 아니지만, Hsiao et al.(2012)의 연구에서도 육체적인 활동에 기반을 두는 과학 활동에서 증강현실의 활용 가능성을 보여주었다. 그들의 연구에서는 청소년의 체육활동 시간 부족을 해결하기 위한 프로그램을 개발하고, 중학교 1학년 학생(7학년) 884명을 대상으로 AR학습(158명), AR게임(168명), AR학습과 게임 모두(384명), 전통적 CAI 학습(76명), 대조군 집단(98명)을 지정하여 그것의 교육적 함의점을 탐색하였다. 괄목할 만한 결과는 나타나지 않았지만, 그들의 연구는 증강현실이 체육시간에 육체적 행위와 함께 과학 교과를 학습하는 데 있어서 중요한 도구가 될 수 있음을 보여

주었다. 즉, 이들 선행연구는 체화된 인지발달의 촉진제이면서도 융합교육의 매개체로서 증강현실의 잠재적 가치를 보여준다.

5) 인지적 도구 지원

분산인지(distributed cognition) 이론에 따르면, 물리적·상징적으로 구성된 자원은 개인의 두뇌에서 만든 정보를 외부로 이끌어내거나 외부의 정보를 두뇌에 정돈하여 넣는 도구로 활용될 수 있으며, 나아가 사고(thinking)의 운반체로 인지적 활동에 참여할 수 있다(Salomon, 1997). 예컨대, 이러한 자원에는 분자를 가리키는 축조구조식, 전자 이동을 나타내는 화살표가 포함된다. 숙달된 유기화학자들은 복잡한 분자를 축조구조식으로 기억하거나 이들의 반응특성을 메커니즘을 통해 예측할 때마다 종종 머릿속에 가상의 축조구조식과 전자 이동에 관한 화살표를 그린다. 또 다른 예로, 개념도(concept map)는 위계적으로 분류 가능한 다양한 개체를 머릿속에 넣거나 꺼낼 때 도움을 주며, 점차 사고의 한 부분으로 자리 잡는다. 이러한 상징적 자원은 초기에는 외부에서 인지적 활동을 돕다가 점차 내면화되어 인지 내부로 전이되어 점차 학습자의 사고 수준을 확장한다. 이러한 과정은 일종의 ‘학습’이라 볼 수 있는데, 그 이유는 이들로부터 발생한 사고의 잔류물(residues)들이 숙달 수준에 따라 점차 마음속에 머물기 때문이다. 학습을 일으키는 도구를 인지적 도구라 말할 수 있으며, 여기에는 앞서 언급한 상징적 기호는 물론이거니와 그것을 포함하는 교재 및 어플리케이션 모두 해당된다. 학습은 인지적 도구의 다차원적 조작 및 그것에 상응하여 제공되는 정보를 여러 측면에서 관찰하는 것으로부터 시작된다. 이러한 과정은 상호작용성을 지닌 가상현실과 증강현실 콘텐츠를 통해 강화될 수 있다(이태수, 이동원, 2015).

이와 관련된 국외 연구사례로, Chen et al.(2016)은 생물교육의 먹이사슬 관계를 이해하는 교수학습에서 전형적인 증강현실 콘텐츠와 여기에 개념도가 추가된 콘텐츠 사이의 교육적 효과를 조사하였다. 초등학교 5학년 학생 71명을 대상으로 적용해본 결과, 개념도를 적용한 증강현실 콘텐츠의 교육적 효과가 학업성

취와 학습동기, 학습태도 면에서 더 높다는 사실이 확인되었다. 이들의 연구는 증강현실 콘텐츠가 갖는 교육적 효과를 교육적 내용에 따라 기존에 알려진 인지적 도구와 접목하여 높일 수 있음을 보여주었다. 이들의 결과는 증강현실 콘텐츠를 설계할 때, 학습 내용에 따른 적절한 인지적 도구의 활용을 고려해야 함을 시사한다.

4. 중등 과학교육에서 증강현실 콘텐츠의 전망

가. 중등 과학교육에서 증강현실 콘텐츠의 발전 가능성

전술한 증강현실 연구의 용례와 관련하여 이창윤 등(2019)의 연구에서 제안한 중등 과학교육용 증강현실 콘텐츠의 발전방안 내용은 다음과 같다.

첫째, 모델체험에 관한 기존 증강현실 콘텐츠들은 조작의 자유도가 낮은 수준에 머물고 있었다. 사실상, 모델의 조작 경험은 학생이 스스로 머릿속에 모델을 구성하는 데 있어 중요하지만, 기존 증강현실 콘텐츠에서 사전에 설계된 학습경로는 제한적이었다. Kapur (2008)에 따르면, 실패의 경험조차도 학습에 도움이 될 수 있어, 학습자가 조작에 실패하더라도 피드백을 제공하는 시스템의 구현은 중요하다. 이에 따라, 모델체험을 목적으로 후속 개발될 증강현실 콘텐츠는 성공적 학습을 이끄는 학습경로 이외에도 다양한 조작 경험을 제공하도록 설계될 필요가 있는 것이다.

그 밖에도, 이러한 종류의 콘텐츠들은 학생들이 이론적 모델과 자연현상을 연관 짓도록 돕는 콘텐츠의 특성인 맥락적 연관성도 떨어지는 것으로 나타났다. 기존 증강현실 콘텐츠는 마커나 이미지를 중심으로, 종이로 된 교과서의 내용을 확장하기 위해 도입되어 온 것이다. 한편, 최근에는 이미지 타게팅 기술이 급속도로 발전하여 사전에 인식되지 않았던 현실세계의 입체적인 사물도 즉시 인식할 수 있게 되었다. 게다가, GPS와 같은 위성 센서의 정확도가 증가했을 뿐만 아니라, WIFI와 같은 실내 AP 기기를 통해서도 위치를 파악할 수 있어, 실내에

서도 학습자의 위치에 따라 정보를 맥락적으로 제공해주는 것도 가능해졌다. 이에 따라, 모델체험을 목적으로 후속 개발될 증강현실 콘텐츠는 학습자가 더 나은 환경에서 모델을 체험하도록 돕기 위해 2차원 마커가 아닌 실제 현상 위에서 학습 정보를 맥락적으로 제공하도록 설계될 필요가 있는 것이다.

둘째, 탐구활동 안내를 위한 기존 증강현실 콘텐츠들은 행동 패턴 및 학습 참여에만 초점을 두었고, 세부적인 실험실 태도에 대한 안내는 없었다. 사실상, 실험실에는 탐구활동에 활용할 수 있는 다양한 시약과 도구가 비치되어 있긴 하나, 이것을 잘못 사용할 경우 안전사고로 이어질 수 있다. 실험실에서 지켜야 할 사항은 태도적인 영역과 관련되므로, 학생들에게 강의식으로 전달하기보다는 상황에 따라 반복적으로 안내하여 숙지시킬 필요가 있다. 이에 따라, 탐구활동 안내를 목적으로 후속 개발될 증강현실 콘텐츠는 실험실에서 준수해야 할 사항을 학생들이 숙지할 수 있도록, 태도적 영역에 대한 안내를 보편적으로 포함하는 방향으로 설계될 필요가 있는 것이다.

또한, 탐구활동 안내를 위한 기존 증강현실 콘텐츠는 학생들이 특정 행동을 하도록 유발하는 데 있어서 정보제공 방식을 주로 텍스트에 의존하고 있었다. 박태정(2015)의 연구에 따르면, 학습활동의 안내에 있어서 감성적 요소를 고려하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다. 구체적으로, 이러닝 콘텐츠에서는 교수자 역할을 하는 가상의 튜터 에이전트를 도입함으로써 인지적 정보제공뿐만 아니라 감성적 피드백이 가능하다. 이에 따라, 탐구활동 안내를 목적으로 후속 개발될 증강현실 콘텐츠는 탐구활동 안내가 필요한 상황에서 감성적 요소를 고려한 학습환경의 조성을 위해 가상의 튜터 형식의 인터페이스 도입을 고려할 수 있을 것이다.

셋째, 현장 체험학습은 학생들이 협력적으로 문제해결을 경험할 수 있는 좋은 학습의 장이지만, 협력학습 및 협력적 상호작용을 촉진하는 방안에 대한 모색을 시도한 증강현실 연구는 드문 편이다. 이와 관련된 기존 증강현실 콘텐츠들은 주로 야외 탐구활동에서 수행해야 할 과제를 안내하거나, 과학관·센터에서 살펴보아야 할 내용들을 안내하는 데 한정하여 사용되었을 뿐, 협력학습을 지원하는

데까지는 확장되지 못했다. 교실 상황에서는 협력학습 활동 중 하나로 의견수렴을 하는 과정에서 종종 가까운 거리에서 동료들과의 논의와 노트-필기가 요구되지만, 현장 체험학습 상황에서는 동료와의 유동적 거리 차이와 책상의 부재로 인해 협력학습이 어려운 편이다. 이 때문에 교실 밖에서 협력학습을 지원하려면 언어·텍스트 방식을 넘어선 커뮤니케이션 시스템의 도입이 요구된다. 최근 스마트폰의 얼굴인식 기술은 사용자의 감성을 읽을 뿐만 아니라, 그것에 상응하는 이모티콘을 표현해주기도 한다(이창운 외, 2015). 그러한 기술은 영상통화 기술에 접목되어, 국내 메신저인 ‘카카오톡’의 서비스 중 하나로 자리 잡았다. 게다가, 스마트폰에서 음성인식 기술은 음성 대화를 텍스트로 옮겨줄 뿐만 아니라, 각종 명령을 인식하여 스마트폰의 다른 기능을 인지의 일부처럼 사용할 수 있게 해준다. 이처럼 실시간으로 작동되는 얼굴 감성인식, 영상통화 기술, 음성인식 기술은 증강현실을 교실 밖 협력학습을 지원하는 시스템으로 만드는 데 기여할 수 있다. 세부적으로, 이러한 기술은 야외·외부 교육기관에서 물리적 거리가 발생하는 학습상황에서도 협력적으로 문제를 해결하는 데 있어서 효율적인 방식으로 동료의 의견과 감정 상태를 파악할 수 있게 해줄 것으로 예상된다(박태정, 2015; 이창운 외, 2015). 이에 따라, 현장 체험학습을 지원하는 목적으로 후속 개발될 증강현실 콘텐츠는 현장 체험학습에서 협력적 과제수행을 지원하기 위해 얼굴 감성인식, 영상통화 기술, 음성인식 기술의 도입을 고려할 수 있을 것이다.

넷째, 체화된 인지학습을 위한 기존 증강현실 콘텐츠들은 학습 놀이와 체육활동의 맥락에서 도입되긴 하였으나, 육체적 행위로부터 인지적 학습활동을 촉진하기 위한 구체적인 전략은 고려하지 않았다. 특정 물리적 행위가 어떤 학습에 도움이 되는지에 대한 전략에 초점을 두고 증강현실 콘텐츠를 구현한다면, 학습 효과가 더 높을 것으로 예상된다. 하지만, 체화된 인지에 대한 측면을 고려한 과학교육 연구도 시론적 단계이기 때문에, 이러한 측면에서 증강현실 콘텐츠의 발전 가능성은 큰 것으로 사료된다. 이에 따라, 체화된 인지학습을 지원하는 목적으로 후속 개발될 증강현실 콘텐츠는 체화된 인지 이론의 측면에서 교육적 효과를

살펴보아야 할 것이다.

마지막으로, 인지적 도구를 지원하기 위한 기존 증강현실 콘텐츠들은 개념도와의 융합에만 초점을 두고 개발되어왔다. 하지만, 선행연구들은 인지적 도구로서 개념도뿐만 아니라 브이도(vee map), 노트-필기(note-taking), 자기-설명(self-explaining)의 교육적 효과도 지속적으로 보고해왔다. 학생들의 인지적 발달을 촉진하기 위해 다채로운 인지적 도구의 도입 및 그것의 내면화를 지원해야 할 것으로 사료된다. 이에 증강현실의 설계 전략을 학습내용에 따라 다채롭게 구성할 수 있도록, 다양한 인지적 도구의 융합 가능성을 확인하는 연구가 필요한 실정이다. 이에 따라, 인지적 도구를 지원하는 목적으로 후속 개발될 증강현실 콘텐츠는 교육적 효과의 향상을 위해 새로운 인지 도구와의 융합을 고려해야 할 것이다.

요컨대, 증강현실 기술은 상호작용성과 다중양식 특성에 관한 이미 알려진 어포던스뿐만 아니라 지속적으로 발전하는 스마트기기와 콘텐츠로부터 새로운 어포던스를 개척할 수 있어, 중등 과학교육의 여러 방면에서 발전 가능성이 제기된다. 그러므로, 테크놀로지의 발달과 우리나라 중등 과학교육의 진보를 매개하기 위해 증강현실 콘텐츠에 주목하는 교육 연구가 필요한 것이다. 하지만, 증강현실 콘텐츠는 오직 유아·초등 교육에서 활발하게 활용되고 있을 뿐, 중등 과학교육을 위한 특화된 활용 측면에서는 관심이 부족한 편이었다(김혜나, 2018).

달리 생각해보면, 증강현실 콘텐츠는 다양한 연령대 학생들이 과학 학습에 관심을 두게 만들 수 있어, 여전히 무수한 발전 가능성을 가진 교육콘텐츠 후보이자 주목할 가치가 있는 교육 연구의 소재라 말할 수 있다. 최근 증강현실 기술은 빠른 속도로 발전하고 있으나, 교육적 활용에 있어서 아직 탐색되지 않은 영역이 존재한다. 예컨대, Cheng & Tsai(2013)의 연구에 따르면, 증강현실의 특성을 ‘이미지 기반’과 ‘위치정보 기반’으로 구분하여 교육적 어포던스를 논의하였지만, 최근 기술의 발전으로부터 도입된 증강현실의 ‘모델 타겟 기술’에 관한 교육적 어포던스를 다루는 논문은 드문 편이었다. 이와 관련하여 본 논문에서는 과학 시뮬레이션의 개발사례를 통해 모델 타겟 기술에 기반하는 증강현실 콘텐

츠의 교육적 어포던스 가능성을 논의해보고자 한다.

나. 증강현실에 관한 과학교육 연구의 전망

증강현실 기술은 실제 존재하는 물리적 객체 위에 가상의 표상(텍스트, 그래픽(또는 삽화), 애니메이션 등)을 덧씌우는 기술이며, 카메라 센서를 통해 입력된 이미지 또는 GPS 센서를 통해 입력된 위치정보를 매개로 현실의 사물을 인식하여 그 위에 가상의 표상을 덧씌움으로써 현실감 있는 정보를 제공할 수 있다. 이러한 특성으로 인해, 증강현실은 교육적 콘텐츠의 발전을 이끌 대안적 콘텐츠로서 알려져 왔다. 이와 관련하여 Dunleavy et al.(2009)의 연구에서는 선행연구 검토를 통해 범교과적 차원에서 알려진 증강현실의 교육적 어포던스를 아래 <표 II-2>와 같이 (1) 학습환경과 (2) 학습경험의 측면에서 분석한 바 있다. 그들에 따르면, 증강현실은 학생이 몰입할 수 있는 학습환경을 만들거나, 협력적 학습경험을 통해 비판적 사고(critical thinking), 문제해결(problem solving), 의사소통(communicating) 기능의 발달을 돕는 교육적 어포던스를 포함하는 것으로 여겨진다. 이 두 가지 측면은 증강현실의 교육적 활용을 시도한 선행연구에서 공통적으로 추구하는 측면일 뿐만 아니라, 교육적 효과도 어느 정도 입증되어 왔기 때문이다.

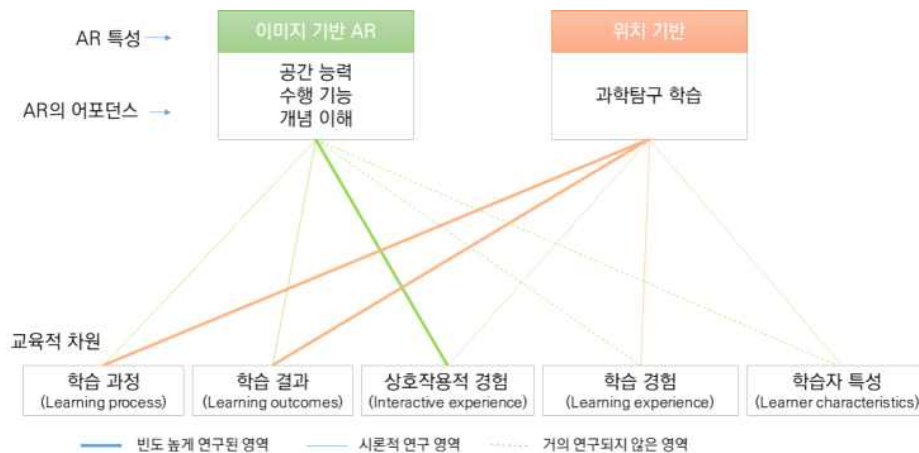
<표 II-2> 범교과적 차원에서 증강현실의 교육적 어포던스

| 어포던스 | 설명 |
|------|--|
| 학습환경 | 디지털과 물리적 객체가 함께 어우러지는 ‘몰입형 하이브리드 학습환경’을 만들 수 있음. |
| 학습경험 | 상호의존적인 협력 경험을 통해 비판적 사고, 문제해결, 의사소통 기능을 향상시킬 수 있음. |

한편, 교육적 어포던스의 차원에서 증강현실의 특성을 분석한 연구는 과학교육의 영역에서도 수행된 바 있다. Cheng & Tsai (2013)은 과학교육의 맥락에서 도입된 ‘증강현실 기반 시뮬레이션’에 대해 기술적 방식에 따른 교육적 차원을 연관 지으면서 다양한 교육적 활용사례에 대한 검토와 함께 증강현실의 교육

적 어포던스를 제안하였다(그림 II-5).

세부적으로, 그들은 증강현실의 기술적 방식을 당시 알려진 이미지 기반 방식(카메라 센서를 통한 증강현실 구현방식)과 위치 기반 방식(GPS 센서, 가속도 센서 등 사용자의 위치정보를 읽는 센서를 통한 증강현실 구현방식)으로 구분하면서, 이들을 중심으로 교육적 어포던스를 ‘개념 이해’(conceptual understanding), ‘개념 변화’(conceptual change), ‘공간지각 능력’(spatial ability), ‘탐구기반 학습’(inquiry-based learning), ‘수행 기능’(practical skills)에 관한 것으로 제안하였다. 더불어, 그들은 연구의 결과로서 과학교육 영역에서 증강현실 연구들이 어느 교육적 어포던스를 활용하였는지와 이를 통해 어떤 교육적 측면에 초점을 두었는지를 빈도 도표로 제시하기도 하였다. 그에 따르면, 이미지 기반 방식의 경우에는 주로 상호작용적 경험을 제공하는 목적으로 빈도 높게 활용되고 있었으며, 위치 기반 방식은 학습자의 학습과정과 학습결과를 촉진하기 위해 빈도 높게 활용되고 있었다.



[그림 II-5] 과학교육에서 AR 관련 연구주제들에 관한 시각 모델
(Cheng & Tsai, 2013, 본 논문에서 재구성)

그 밖에도, Cheng & Tsai (2013) 연구에서는 문헌 검토를 통해 얻은 결과로부터 아래 [그림 II-6]과 같이 증강현실 기반 과학교육 연구의 방향을 안내하는

틀을 제시하였고, 이를 통해 증강현실 연구가 학습인지 이론과 함께 발전할 수 있음을 시사하였다.



[그림 II-6] 과학교육에서 증강현실(AR) 연구와 관련될 수 있는 이론에 대한 틀
(Cheng & Tsai, 2013, 재구성)

그들이 제시한 틀에 따르면, 과학교육에서 알려진 증강현실의 활용사례들은 교육적 어포던스 차원에서의 논의를 넘어, 나아가 증강현실이 정신 모델, 공간인지, 상황인지, 사회적 구성주의 학습 등 학습인지 이론의 발달을 위한 연구 소재로서 타당할 수 있음을 보여준다. 하지만, 그들의 연구에서는 최근 새롭게 개발된 ‘모델 타겟’에 관한 증강현실 기술은 반영되지 않았을뿐더러, 과학교육에서 강조해 온 ‘모델 학습’과 ‘탐구 활동’ 측면에서의 활용 가능성도 비중 있게 다루지는 않았다. 이는 과학교육에서 증강현실의 교육적 어포던스가 충분히 탐색되지 않았음을 암시하며, 이와 관련된 탐색적 연구의 필요성을 제기한다(황윤자, 2013). 이에, 본 논문에서는 최근 새롭게 알려진 모델 타겟에 관한 증강현실의 기술 특성으로부터 과학교육에서 논의해볼 만한 증강현실 기반 교육콘텐츠의 새로운 교육적 어포던스를 제안하고자 하였다.

Ⅲ. 연구내용 및 방법

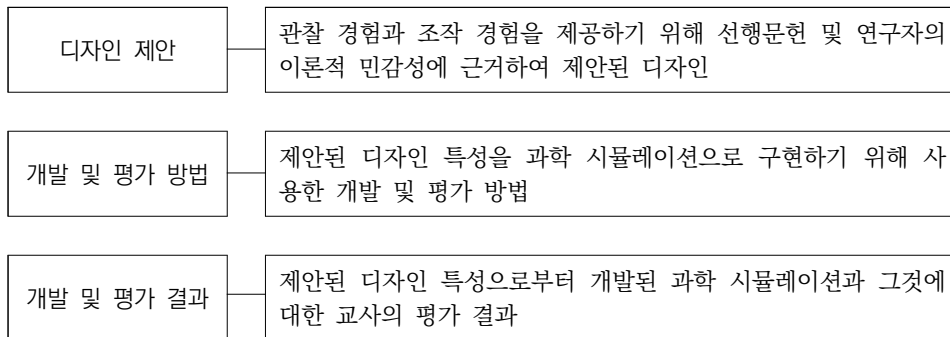
1. 사례연구방법

사례연구방법은 일상생활에서 일어나는 현상을 깊이 있게 조사하는 연구방법으로, 현상과 정황을 구분하여 사건에 개입하는 요소들이 ‘어떻게(how)’ 혹은 ‘왜(why)’ 작동하였는지를 탐색하는 데 초점을 두는 방법이다(Yin, 2009). 현상이란 일상생활에서 일어나는 사태 그 자체를 지칭하며, 정황이란 현상을 설명할 수 있는 실마리 또는 그것의 후보를 뜻한다. 사례연구방법에서 현상은 보통 개인, 집단, 조직을 비롯한 사회적, 정치적, 문화적 요소와 관련하여 나타나는 것들을 가리키지만, 연구자가 사례를 어떻게 정의하는지에 따라 어떤 유형의 대상을 중심으로 일어나는 사태에 관한 것들을 가리키기도 한다. 사례연구방법의 목적은 하나의 사례를 통한 결과물의 일반화라기보다는 추후 수행될 다중사례연구를 위한 근거를 마련하거나, 또는 새로운 사건이나 대상과 관련하여 나타나는 현상을 설명하는 정황을 찾아 그와 관련된 가능한 사태를 밝혀 독자들의 지평을 확장하는 데 있다. 따라서, 사례연구의 결과는 일반화할 수 없다는 한계점을 갖지만, 전형적인 사태의 사례로서 의미를 지닐 수 있는 것이다(조용환, 1999; Creswell, 2012).

본 논문에서는 사례연구방법에 기반을 두고, 우리나라 중등 과학교육을 위한 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 탐색하고자 하였다. 세부적으로, 사례연구방법을 통해 수집한 자료를 각 의도된 디자인으로부터 교육적 어포던스를 상정⁴⁾할만한지를 판단하기 위한 정황적 단서로 두고, 그와 관련된 디자인 요건을 도출함으로써 연구의 목적을 달성하고자 하였다. 이를 위해, 사례의 초점을 아래 [그림 III-1]과 같이 두 과학 시뮬레이션의 개발사례에 관한 (1) 디자인 제안, (2) 개발 및 평가 방법, (3) 개발 및 평가 결과에 두었다. 이때, 디자인 제안에 관하여 초점을 두었던 것은 두 개발사례에서 제각기 관찰 경험과 조작 경험을 제공하기 위해 선행문헌 및 연구자

4) 상정(想定)하다(postulate) : 어떤 정황을 가정적으로 생각하여 단정하다.

의 이론적 민감성(theoretical sensitivity)에 근거하여 제안된 디자인을 통해 사태를 예고하는 단서를 드러내기 위함이었다(Strauss & Corbin, 1998). 개발 및 평가 방법에 관하여 초점을 두었던 것은 두 개발사례에서 제각기 제안된 디자인 특성을 과학 시뮬레이션으로 구현하기 위해 사용한 개발 및 평가 방법을 통해 사태를 매개하는 ‘정황’을 드러내기 위함이었다. 개발 및 평가 결과에 관하여 초점을 두었던 것은 앞서 제각기 제안된 디자인 특성으로부터 개발된 과학 시뮬레이션과 그것에 대한 교사의 평가 결과를 통해, ‘사태’ 그 자체에 다가가기 위함이었다.



[그림 Ⅲ-1] 사례연구의 초점

한편, 본 논문에서는 사례연구방법을 따르지만, 어떤 확실한 이론적 가설로부터 시작하는 연역적 연구(예, 양적 연구)의 방식도, 가설을 최대한 배제한 채 현상 그 자체를 연구 자료로 구성하는 귀납적 연구(예, 질적 연구)의 방식도 일률적으로 따르지는 않는다(Yin, 2009). 오히려, 본 논문의 연구방식은 연역적 접근과 귀납적 접근을 동시에 취하는 것이기 때문에, 혼합연구방법(mixed methods)의 논리를 차용하는 것이라 말할 수 있다(박승배, 2009; Creswell & Plano Clark, 2017). 그 밖에도, 본 논문에서는 귀추적 논리(abductive reasoning)로써, 통제된 환경에서 검증된 것이 아닌 불완전한 관찰(incomplete observations)이라 하더라도 그것을 통해 가장 신빙성 높은 설명체계(예측)를 도출하려 하였다(김무길, 2010). 하지만, 귀추적 논리는 종국에 약한 확증(weak confirmation)으로 향할 수밖에 없다. 그런데도 본 논문을 비롯한 여러 연구에서 귀추적 논리가 흔하게 채택되는

것은 ‘새로운 사실’과 대면하는 상황에서 대체할만한 다른 대안적 논리가 거의 없기 때문이다. 사실상, 본 논문에서는 우리나라 중등 과학교육의 요구로서 ‘새로운’ 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 살펴보고자 하였기에 이러한 논리를 채택하게 된 것이다. 이에 따라, 본 논문에서 추구하는 연구 방향은 과학 시뮬레이션의 디자인 특성에 관한 가설적 제안에서부터 추론적 가설까지 도달하는 것이라 말할 수 있겠으며, 다르게 표현하면, 프래그머티즘의 관점에서 허용되는 연구 태도에 상응하는 것이라고 말할 수도 있다. 아래에서는 이러한 연구의 접근방식을 정당화하기 위해, 연구의 논리로서 프래그머티즘의 관점을 소개하였다.

2. 연구의 논리 : 프래그머티즘

프래그머티즘은 경험을 중시하는 철학적 사상으로, 과학사적 관점에서 지식의 기원을 설명할 때, ‘귀납적’, ‘연역적’ 탐구행위로 설명하기 어려운 지식의 생성을 설명할 수 있는 대안적인 관점을 제공한다(김무길, 2010; 박승배, 2009). 이러한 관점에서는 기존의 방식으로는 설명하기 어려웠던 지식의 기원에 관한 설명으로서, (1) 최초로 지식은 어떻게 만들어진 것인지, (2) 지식은 창의적·직관적 통찰로부터 만들어질 수 있는지, (3) 인간이 생성한 지식은 진리를 말하는 것인지에 대해 설명할 수 있는 태도와 가치관을 제공한다.

프래그머티즘의 관점에서 지식은 하나의 ‘믿음’의 산물로서 인간의 ‘고집’, ‘권위’, ‘선험적 방법’, ‘과학적 방법’에 기반한 탐구행위를 통해 구성된다고 말할 수 있다(김동식, 2002). 인간의 탐구행위는 ‘의심’의 단계에서부터 시작이 되며 상기한 4가지 방법에 관한 ‘사고’ 과정을 통해 최종적으로 ‘믿음’의 상태에 도달하게 되는데, 이러한 행위의 산물이 바로 지식인 것이다(김무길, 2010). 그렇지만, 프래그머티즘의 사상이 이처럼 가능한 4가지 형태의 탐구행위를 동등하게 지향하거나 가치를 매기는 것은 아니다. 오히려, 탐구행위로서 실험 수행을 포함하는 과학적 방법(또는 실험적 방법)을 권유하는 편이며, 도덕적 태도, 합리적 인지 과정으로부터 생성되는 관념이

나 개념 지식에 높은 가치를 부여하는 편이다(김동식, 2002). 그렇다고 해서 프래그머티즘이 완전한 실증주의적 가치관을 지향하는 것은 아니며, 그보다는 오히려 미약한 실증주의적 태도와 함께 판단의 보류를 비롯한 다원주의적 태도를 추구하고 있다고 할 수 있다(김무길, 2010). 비록 초기에 탐구행위로서 실제 감각을 통해 지각할 수 있는 과학적 방법에 높은 가치를 두었다고 하더라도, 제임스나 듀이에 의해 체계화된 프래그머티즘에 따르면, 탐구행위로서 학계에서 합의된 다양한 방법에 의존하는 것조차도 허용되는 옵션이 되기 때문이다(김무길, 2010). 이러한 관점에서의 탐구행위는 오늘날 지식 주장을 위한 과학적·사회과학적 연구행위와 닮아있는 듯하다(김동식, 2002).

그러나, 여기서 눈여겨보아야 할 것은 프래그머티즘에서는 실험적으로 엄격하게 검증하여 구성한 지식이라 하더라도 그것을 '진리'라 여기지 않는다는 점이다. 이러한 태도는 어떠한 방법을 통해 구성된 지식이라 하더라도 그것을 '믿음'의 결과물 이상도 이하도 아니라고 보는 본유의 관점 때문이라 할 수 있다(김동식, 2002). 프래그머티즘에 따르면, 지식을 생성하는 행위는 단지 연구자가 '믿고 있는 방법'을 통해 '믿음을 견고하게 하는 단서'를 수집하는 과정에 지나지 않는 것이기 때문이다. 그렇기에, 프래그머티즘의 대표적인 학자인 듀이도 아무리 '엄격한' 과학적 방법을 통해 '객관적'으로 생성된 지식(개념)이라 하더라도, 이에 관해 새로운 진리라기보다는 단지 신빙성이 높은 보장된 언명가능성(warranted assertibility)을 말하는 것에 지나지 않는다고 하였다(김동식, 2002; 박승배, 2009). 그렇다고 해서 프래그머티즘의 사상이 믿음의 산물이라 할 수 있는 지식에 관하여 가치가 없다거나 쓸모가 없다고 여기는 것은 아니다.

프래그머티즘은 연구 주체의 도덕성과 합리를 추구하려는 태도와 더불어, 지식의 진화론적 발전 가능성을 가정함으로써 지식의 가치와 유용성을 말한다. 특히, 프래그머티즘에서는 지식에 관하여 어떻게 구성되었는지보다는 그것이 다른 것과 일치하거나 대립하는 지점에서 어떻게 될지에 대해 초점을 두으로써, 그것이 공감대와 비판 사이에서 진화론에서의 '진화'처럼 발전해나갈 것으로 전망한다. 이러

한 관점은 지식이 비록 정신적인 산물이라 하더라도 생존경쟁을 통해 후대로 이어지는 유전자의 진화방식처럼 발전한다는 믿음을 기저에 두는 것이라 할 수 있다. 물론, 이러한 견지는 Blackmore(2000)의 저서 『The meme machine』에서도 제기된 바 있어, 프래그머티즘의 사상 안에서만 통용되는 것으로 치부할 수는 없다. 즉, 이러한 견지가 국지적이라 할 수 없기에, 이와 관련된 가치관은 철학적 배경을 공유하는 연구자 사회가 아니더라도 당위성을 말할 수 있는 것이다. 이로써 꼭 프래그머티즘을 따르는 연구자가 아니라 하더라도, 또한 그가 ‘믿고 있는 방법’을 통해 ‘믿음’을 견고하게 하는 단서로서 생성한 지식이라 하더라도, 그가 생성한 그것은 통상적으로 진화론적 관점에서의 생존경쟁 시험대에 오를 자격이 있다고 할 수 있는 것이다. 이처럼 프래그머티즘은 비록 전통적인 학문이 추구해온 ‘탑-다운(top-down)’ 방식에서 어떤 하나의 ‘진리의 명제’⁵⁾를 발굴해서 그것을 세상에 적용해보는 탐구행위는 아니라 하더라도, 당장은 불충분하다고 여겨지겠지만 실용성을 추구함으로써 어떤 단서를 생성하는 ‘바텀-업(bottom-up)’ 방식에 높은 가치를 부여할 수 있게 한다(김동식, 2002). 이러한 관점은 ‘혼합연구방법’과 ‘사례연구방법’이 추구하는 가치관과도 부합하는 것이며, 그뿐만 아니라, 불충분한 관찰로부터 최선의 설명체계를 채택함으로써 ‘그럴듯함(plausibility)’을 추구하는 귀추적(abductive)⁶⁾인 탐구행위와도 상응하는 것이라 할 수도 있다(김무길, 2010; 박승배, 2009; Creswell & Plano Clark, 2017).

반면에, 프래그머티즘에서는 현실세계에서 감각을 통해 경험하기 어려운 언어적 명제의 생성만을 추구하는 연구나 경험의 공유가 부재한 사실 검증을 위한 연구에 관해서는 별다른 가치부여를 하지 않는 편이다. 예컨대, 본 저자가 단순히 양적 연구를 통해 과학 시뮬레이션은 학업 성취도, 학습 흥미의 측면에서 통계적으로 유의한 향상을 일으킨다($p < .05$)라는 명제를 주장한다고 할 때, 종래의 교육학계에서는 객관적인 연구물로서 익숙하게 받아들여질지 모르겠으나, 프래그머티즘의 관점에서는 그것이

5) 일반화된 명제 또는 전형적인 명제

6) 귀추적 접근은 프래그머티즘에 관한 초기 영감을 제공한 퍼스(Peirce)에 의해 소개된 현대 논리로서, 관찰된 현상으로부터 가장 그럴듯한 설명체계를 도출하는 접근법이다.

그렇듯함을 시사하는 귀추적 접근 또는 이와 관련된 사례연구보다 더 낫다고 말하지는 않을 것이다. 오히려, ‘과학 시뮬레이션’이 어떻게 감각되는 실체인지, 학습 흥미에 관한 구인 타당성을 주장하는 과정이나 통계적 방법을 사용하는 과정에서 ‘고집’이나 ‘권위’적 믿음의 요소가 지나치게 포함되어 있었던 것은 아닌지, 그리고 ‘선험적 방법’에 의존하려 했던 것은 아닌지를 되물을 것이다. 사실상, 언어적 한계로서 (1) 과학 시뮬레이션이라는 용어는 주체의 믿음이나 경험에 따라 다르게 느낄 수 있는 용어이고, (2) 학습 흥미를 검사하기 위해 도입하는 리커트 척도 검사 문항은 모든 학생이 똑같이 지각할 수 있는 객관적인 척도로서 작용하지 않기 때문이다. 게다가, 통계적 방법의 한계로서 (3) 독립성, 정규성, 등분산성, 선형성, 회귀계수의 동일성 등 수학적 가정에 기반하여 도입된 추리통계를 종래의 교육 연구에서 해온 것처럼 무선표집(random sampling)과 무선배치(random assignment) 없이 원래 집단(intact group)을 대상으로 실시한 연구 검사지의 분석에 적용하게 되었을 때, 왜곡된 적용이라는 비판이 제기될 여지가 있으며, (4) 설령 분석을 통해 결과를 도출했다고 하더라도, 이때 도출된 분석 결과가 모집단을 대표하는 결과인지를 파악하거나 일반화된 명제를 도출하는 근거로서 충분한지를 판단하는 것은 연구자에 따라 달라질 수 있기 때문이다. 이처럼 연구 주체에 따라 달라질 수 있는 부분이 있다면, 누구라도 그와 관련된 연구가 권위나 믿음의 방법이 아닌 객관화된 방법에 따라 수행된 것이라고 주장할 수는 없을 것이다. 결국, 이처럼 교육학계에서 통상적으로 받아들여 온 양적 연구도 용어, 검사지, 통계 방법, 해석결과를 모두 학계의 권위나 연구자의 믿음에 따라 채택하고 도출하기 때문에, 상기한 그렇듯함을 시사하는 귀추적 접근 또는 사례연구의 결과보다 어느 하나 더 나은 점이 없는 것이다. 도리어, 프래그머티즘에서는 이처럼 언어적, 추상적 논리에 근거하여 도출된 명제 지식이 자칫 언어적 이해를 넘어선 어떠한 실천 가능한 통찰도 제공하지 않는 지식으로 전락할 여지가 있음을 우려한다. 그렇기에, 이러한 관점에서는 탄탄한 논리적 고리를 순환하는 지식보다는 오히려 논리적 결함이 존재하더라도 누구나 실천할 수 있도록 경험을 공유하는 지식을 더욱 중시하는 것이다.

그렇다고 하더라도, 프래그머티즘이 이러한 명제에 초점을 두는 연구가 완전히 배제되어야 한다는 주장을 뒷받침하는 것은 아니다. 그러한 배척 태도는 프래그머티즘이 추구하는 다원주의적 세계관과 맞지 않는 것이기 때문이다(심승환, 2007). 다만, 프래그머티즘의 관점에서는 어떤 연구물이 하나의 지식으로서 지식답게 구성되려면, 도덕과 합리성을 추구하려는 태도와 함께, 경험을 공유할 수 있는 단서를 ‘충분히’ 포함함으로써 누구나 실천할 수 있는 ‘현금 가치’를 지녀야 함을 말하고자 하는 것이다(김동식, 2002). 현금 가치는 프래그머티즘의 철학을 인본주의적으로 접근하여 발전시킨 학자, 제임스가 지식의 실용적 가치를 강조하기 위해 도입한 표현이다(심승환, 2007).

프래그머티즘의 가치관에 상응하는 연구로 나아가기 위해서는 연구물에 현금 가치를 부여할 수 있어야 할 것이다. 이와 관련하여 제기될 수 있는 지식에 현금 가치를 높이는 유력한 방법으로는 연구자가 독자로 하여금 어떤 행위를 실천할 수 있도록 단서를 포함하는 실용적인 지식을 구성하는 방법이 있다(김동식, 2002; 박승배, 2009; 심승환, 2007). 이에, 본 논문에서도 이러한 가치관에 부합하기 위해, 연구의 초점으로 두었던 과학 시뮬레이션의 개발사례에 대해, 그것과 관련된 현상(개발 및 평가 결과) 및 주변의 정황적 단서(개발 및 평가 과정)를 상세히 기술하고자 한 것이다.

3. 과학 시뮬레이션의 개발 전략

과학 시뮬레이션이 과학 수업에서 대안적인 학습 도구로 매력을 갖기 위해 개발과정에서 전형적으로 고려해야 할 요소에는 타당성, 사용성, 교육적 활용성 측면이 있으며, <표 III-1>에서 제시한 바와 같다(이창윤 외, 2018). 이러한 세 가지 측면을 충족하려면, 과학 시뮬레이션의 개발 전략으로서, (1) 과학 시뮬레이션의 요건 설정, (2) 디자인 가이드라인의 설정, (3) 개발도구의 선정이 적절하게 이루어져야 할 것이다.

〈표 III-1〉 과학 시뮬레이션의 개발에서 고려해야 할 세 가지 측면

| 기준 | 설명 | 개발 전략 |
|--|--|--|
| 타당성(validity) | 과학 교과에 특화된 디자인 요건을 기반으로 개발되어야 한다. | 사전에 과학 교과에 특화된 시뮬레이션의 요건을 설정하라. |
| 사용성(usability) | 사용자 편의성을 강화하는 방향으로 개발되어야 한다. | 사전에 디자인 원리로부터 디자인 가이드라인을 설정하라 |
| 교육적 활용성 (educational applicability) | 교사나 학생이 비슷한 종류의 콘텐츠를 재생산할 수 있도록, 사용하기 쉬운 도구로 개발되어야 한다. | 교육적 활용을 고려하여 SDK (Software development kit)를 채택하라. |

가. 과학 시뮬레이션의 요건

선행연구에서는 ‘과학 시뮬레이션’이라는 용어를 종종 사용하지만, 무엇이 과학 시뮬레이션이 될 수 있는지, 그리고 그것을 위해 과학 시뮬레이션의 개발에서 고려해야 하는 요소가 무엇인지에 대해 체계적으로 다룬 연구는 드문 편이었다. 이에, 과학 시뮬레이션이 갖추어야 할 요건을 설정하기 위해 먼저 선행문헌을 분석하였고, 이 과정에서 과학 수업을 위해 개발된 시뮬레이션의 개발에서 극복하고자 하는 기존 시뮬레이션의 주요 한계점에 주목하게 되었다(Plass et al., 2009). 그 이유는 기존 시뮬레이션과 대조적으로, 과학 교과를 위해 시뮬레이션을 개발했던 교육 연구에서 추구해온 개발 방향이 과학 시뮬레이션의 요건이 될 수 있다고 보았기 때문이다. 그 밖에도, ‘과학 교과에 특화된 시뮬레이션인지’를 판단하게 하는 개발의 타당성에 관한 기준으로서, 그리고 과학 시뮬레이션의 개발에서 개발자의 지식이나 개발 경험에 따른 질적인 차이를 줄여주는 표준이 될 수 있는 개발 방향에 관한 기준으로서 적합한지를 판단하여 과학 시뮬레이션의 요건을 도출하고자 하였다. 그 결과로서, 본 논문에서는 〈표 III-2〉와 같이 과학 시뮬레이션이 전형적으로 갖추어야 할 요건을 (1) 표상, (2) 자유도, (3) 개념 표현의 측면에서 제안하였다.

〈표 III-2〉 과학 시뮬레이션의 요건

| 요건 | 기존 시뮬레이션의 한계점 | 과학 시뮬레이션의 개발 방향 예시 |
|-------|--|--|
| 표상 | 애니메이션, 그래픽과 같이 단순화된 모델 표상으로 인해, 동적으로·독특하게 나타나는 자연현상(예, 실험결과)에 대한 관찰 경험을 지원하는 데에는 한계가 있었다. | 관찰 경험을 위한 자연현상(예, 실험결과)을 표현할 때에는 동영상 클립 등 좀 더 사실적인 표상을 이용하라. 다만, 과학 모델(예, 이온 모델)을 표현할 때에는 단순화된 애니메이션, 그래픽 표상을 이용하라. |
| 자유도 | 개발자에 의해 설계된 폐쇄적인 학습경로 때문에, 학생들이 의도된 학습경로에 갇혀 그것을 수동적으로 따를 수밖에 없었다. | 학습 목표와 학습자의 수준을 고려하되, 다채로운 학습경험을 유도하기 위해 자유도를 증가시키는 방향으로 디자인하라. |
| 개념 표현 | 과학 모델은 실제 과학개념을 비유적·상징적으로 나타내고 있으므로, 과학교육에 대한 내용학적 지식이 부족한 개발자들은 시뮬레이션의 개발과정에서 오개념을 유발하는 표상을 방지할 우려가 있다. | 오개념의 발생을 막기 위해, 전문가와 실사용자(교사 또는 학생)들로부터 검토를 받아라. |

상기한 바와 같이 과학 시뮬레이션의 요건을 설정했던 이유는 다음과 같이 말할 수 있다.

첫째, 표상의 측면에서 기존 시뮬레이션은 단순화된 모델로서 애니메이션과 그래픽 표상에 의존했기 때문에, 이온 모델 등 여러 과학 모델을 표현하는 데에는 이점이 있었다(de Jong, 2011). 반면, 동적으로·독특하게 나타나는 자연현상(예, 실험결과)을 충실성(fidelity) 있게 온전히 표현하는 데에는 한계가 있었다(Plass et al., 2009). 따라서, 표상을 충분히 고려하지 않았던 시뮬레이션의 경우, 일부 과학 학습에서 학생들의 관찰 경험을 방해하거나, 그로 인해 과학의 본성을 이해하는 데 어려움을 겪게 할 가능성이 있었던 것이다(Edelson, 2001). 이 때문에, 일부 선행연구에서는 과학 수업을 위한 시뮬레이션의 개발에서 표상의 특성을 고려해야 함을 언급한 바 있다(Blake & Scanlon, 2007; Lindgren & Schwartz, 2009; Plass et al., 2009). 마찬가지로, 본 논문에서도 과학 시뮬레이션의 개발에서 학습 내용에 따라 표상을 그에 걸맞게 채택해야 함을 강조하고자 하였고, 이에, 과학 시뮬레이션의 요건으로서 ‘표상’을 설정한 것이다.

둘째, 자유도의 측면에서 기존 시뮬레이션에서는 개발자에 의해 설계된 폐쇄적인 학습경로로 인해, 학생들은 의도된 학습경로에 간혀 그것을 수동적으로 따를 수밖에 없었다. 사실상, 기존에 시뮬레이션을 통한 학습에서는 학생들이 학습 과정에서 개발자의 의도를 넘어 능동적으로 학습에 참여할 기회를 충분히 제공하지 못했던 것으로 여겨진다(Cober et al., 2015; Rutten et al., 2012). 심지어, 이러한 상황에서 학습자는 원래 의도된 학습경험조차 제대로 하지 못했을 뿐만 아니라 실패로부터 배울 기회도 제약받고 있었던 것이다(Kapur, 2010). 탐구활동을 비롯한 과학 학습에서 실패경험과 이때 제공되는 피드백은 교육적으로 높은 가치를 지니기 때문에, 이와 관련된 학습경로는 디자인 과정에서 고려될 필요가 있다(Balamuralithara & Woods 2009; Hirsh-Pasek et al., 2015; Johnson & Wiles, 2003). 이와 관련하여, 일부 선행연구에서는 과학 시뮬레이션이 높은 자유도 하에서 학습자가 다양한 학습경로를 선택할 수 있도록 다양한 옵션을 제공해야 하며, 동시에 잘못된 행위에 대한 학습경로도 구성하여 학습자에게 실패에 대한 피드백을 제공해야 함을 정당화하는 주장을 내놓고 있다(Ardito et al., 2006; Kapur, 2010; Inan & Inan, 2015). 물론, 초보자의 경우, 제한된 학습경로가 이점이 될 수도 있기 때문에, 학습자의 선택권을 증대시키는 것이 항상 바람직하다고 말하기는 어렵다(Perkins. 1997). 이에 따라, 본 논문에서도 과학 시뮬레이션의 개발에서 학습 목표와 학습자의 수준에 따라 학습경로를 설정하되 다채로운 학습경험을 유도하기 위해 자유도를 증가시키는 방향으로 디자인할 것을 강조하고자 하였던 것이며, 또한 과학 시뮬레이션의 요건으로서 ‘자유도’를 설정한 것이다.

셋째, 개념 표현의 측면에서 시뮬레이션은 개발과정에서 교육학적, 내용학적이론 및 실제 사용자의 수준을 충분하게 고려하지 않게 되면, 시각적 표상으로부터 오개념을 일으킬 수 있는 여지를 남길 수 있다(Blake & Scanlon, 2007; Plass et al., 2009). 선행연구에 따르면, 과학교과서에서 잘못된 삽화가 제시될 경우, 그것이 학습자에게 사고를 방해하는 요인으로, 또는 오개념을 유발하는 요

인으로 작용할 수 있다(김용진 외, 2010; 박종석, 정경민, 2010). 이러한 삽화에 관한 문제는 과학 시뮬레이션에서도 유효한 것이므로, 개발과정에서 그와 관련된 오개념 요인을 제거하기 위해서는 표상의 도입을 신중하게 고려해야 할 것이다(Blake & Scanlon, 2007; Plass et al., 2009). 이와 관련하여, 본 논문에서는 개념 표현의 측면에서 과학 시뮬레이션을 타당하게 개발하는 방안으로, 개발과정에서 현장 과학교사 또는 과학교육전문가가 시각적 표상의 적절성을 공동 검토하는 것이 하나의 대안이 될 수 있다고 보았다(Cober et al., 2015). 그렇지 않다면, 교육학적, 내용학적 지식을 가진 교사나 과학교육 전공자가 과학 시뮬레이션을 직접 개발하는 것도 대안이 될 수 있을 것이다. 이에 따라, 본 논문에서는 과학 시뮬레이션의 요건으로 ‘개념 표현’을 설정한 것이다.

요컨대, 본 논문에서는 과학 시뮬레이션이라 말할 수 있으려면, 기본적으로 개발과정에서 표상, 자유도, 개념 표현의 측면을 고려해야 함을 강조하고자 하였다. 특히, 이들은 과학 수업을 위한 시뮬레이션을 개발하는 데 있어서 적어도 ‘인위적 표상’, ‘자유도의 한정’, ‘오개념 유발’로 인한 제약을 최소화하는 디자인 특성을 반영해야 함을 강조하는 것이라 할 수 있다. 이러한 과학 시뮬레이션의 요건에 충족하기 위한 세부 전략은 연구내용 또는 교육적 요구에 따라 제각기 다르게 설정해볼 수 있을 것이다.

나. 디자인 가이드라인 설정

선행연구에 따르면, 이러닝 콘텐츠의 개발과정에서 사용성을 타당하고 일관되게 높이기 위한 전략으로서 이론과 사례를 기반으로 디자인 가이드라인을 설정할 수 있다(Hartson, 2003; Mayer & Moreno, 2003). 디자인 가이드라인은 주로 정서적, 인지적 측면을 지원하는 심리학적, 인지공학적, 교육학적 문헌과 사례의 분석을 통해 설정되기 때문에, 이러닝 콘텐츠의 개발에 대한 내적인 타당성을 확보하는 데 있어 중요한 기준으로 고려되어 왔다(Jin, 2013; Mayer & Moreno, 2003; Quintana et al., 2009). 물론 이처럼 원론적인 측면만 고려

하게 될 경우, 교육현장에서 발생하는 현실적인 문제에 대응하기는 어렵다는 비판이 제기될 수 있어, 최근에는 디자인 가이드라인에 실제 사용자들의 축적된 경험과 관점을 개방적으로 수용하는 방법도 함께 제안되고 있다(Ardito et al., 2006; Cober et al., 2015). 이처럼 알려진 디자인 전략은 과학 시뮬레이션의 개발과정에서도 사용성 개선을 위해 적용될 수 있을 것이다(Hartson, 2003). 세부적으로, 과학 시뮬레이션의 사용성을 높이기 위해 고려해야 할 디자인 가이드라인을 설정하고자 한다면, 정서적, 인지적, 참여적 관점에서 <표 III-3>과 같이 제안될 수 있을 것이다(이창윤 외, 2018). 아래 <표 III-3>에서는 각 디자인 가이드라인의 근거가 되는 디자인 원리도 함께 부연하였다.

<표 III-3> 정서적, 인지적, 참여적 관점에서의 디자인 가이드라인

| 디자인 가이드라인 | 선행문헌으로부터 디자인 원리 |
|---|--|
| <p>1.1 긍정적인 감성을 불러일으키는 쪽으로</p> <ul style="list-style-type: none"> 시각적 조화(visual affinity) : 시각적으로 매력적인 화면을 제공하라 안내 : 학습자가 전체적으로 만족감을 누릴 수 있도록 학습방법 및 경로를 안내하라 에러 방지 : 잠재적인 에러를 디버그하라(특히, 터치-인터페이스와 관련하여) 신뢰할만한 정보제공 : 혼란을 유발할 수 있는 부적절한 정보를 제거하라 | <ul style="list-style-type: none"> 어떤 색과 모양에 대한 긍정적 감성은 학습을 촉진한다(Um et al., 2012) 나쁘게 또는 비직관적으로 구성된 메뉴는 혼란을 일으킬 수 있다(Johnson & Wiles, 2003) 컴퓨터 사용자가 느끼는 절망감은 그들의 집중과 기억력을 약화시킨다(Klein et al., 2002) 잘못되었거나 불완전한 학습자료는 부정적인 감정을 불러일으키는 '학습실패'에 관한 성취가대를 누적시킬 수 있다(Kort & Picard, 2001; Schutz & Pekrun, 2007). |
| <p>1.2 불필요한 인지 부하(cognitive load)를 감소시키는 쪽으로</p> <ul style="list-style-type: none"> 레이아웃(layout) : 한 화면에서 관련성이 있는 정보 간 거리를 가깝게 하라 일관성(coherence) : 관계없는 내용을 배제하라 텍스트의 명료성(clarity of text) : 내용을 명확하게 표현하거나 중요한 텍스트를 강조하기 위해 글꼴의 모양, 크기, 색상을 결정하라 | <ul style="list-style-type: none"> 관련성이 있는 정보를 가까이 두는 것은 인지 부하를 줄이는 데 도움이 된다(Jin, 2013; Mayer & Moreno, 2003) 관계없는 정보를 줄이는 것은 외재적 인지 부하를 감소시킨다(Chiu & Churchill, 2015). 적합한 텍스트 모양은 외재적 인지 부하를 경감시키는 것뿐만 아니라 학습자가 어려운 내용을 이해하는 데에도 도움이 된다(Eryilmaz et al., 2014). |

1.3 (학습경험을 고려하기 위해) 교사의 관점을 반영하는 쪽으로

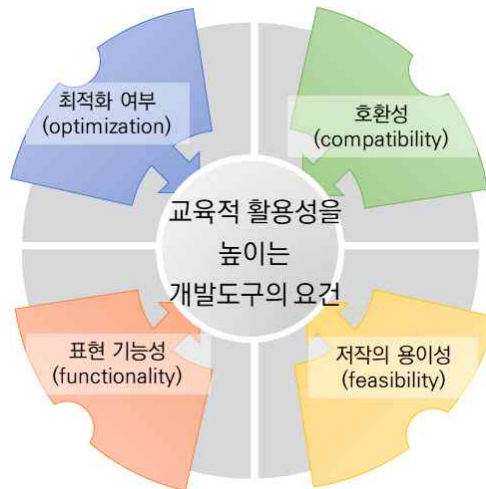
- 정보제시 전략 : 학습을 방해하지 않고, 정보를 전달하기에 적합한 텍스트, 그래픽, 애니메이션을 채택하라
- 주제나 핵심어구를 동적으로 제시하면 학생들은 중요한 부분에 집중할 수 있는 반면(Jin, 2013), 관련없는 애니메이션, 소리 효과, 관련없는 게임은 학생들이 학습에 참여하는 것을 방해한다(Hirsh-Pasek et al., 2015).
- 학습자 수준 고려 : 학습자의 인지발달 수준을 고려하여 화면 내용을 구성하라
- 학생들이 좌절감을 느끼지 않도록 하려면, 그들의 인지 발달수준을 고려하여 적합한 학습자료를 제공해주어야 한다(Schutz & Pekrun, 2007).
- 동적인 관찰 : 학습 성공과 실패 여부에 상관없이 학생이 직접 자유롭게 관찰할 수 있도록 상호작용적 인터페이스를 제공하라
- 구조화된 문제해결 과정에서 경험하는 교착상태는 학생이 후속 학습을 능률적으로 지속하게 만들 수 있다(Kapur, 2010).

이들에 부합하는 과학 시뮬레이션의 개발 방향을 정리하면, 다음과 같이 말할 수 있다. 첫째, 과학 시뮬레이션은 학습자의 정서적 즐거움을 강화하는 방향으로 디자인되어야 한다(Um et al., 2012). 학습 과정에서 느끼는 긍정적인 감정은 학습자가 학습을 계속하게 만들고, 장기적으로 높은 학업성취로 이끌기 때문이다(Schutz & Pekrun, 2007). 둘째, 과학 시뮬레이션은 외적인 요인으로 인한 인지적 부담을 제거하는 방향으로 디자인되어야 한다(de Jong, 2011; Smetana & Bell, 2012). 학습과 관련 없는 요인으로 인해 발생하는 인지 부하가 학습자가 학습 내용에 몰입하는 데 방해가 되기 때문이다(Chiu & Churchill, 2015; Mayer & Moreno, 2003). 셋째, 과학 시뮬레이션은 현장 과학교사의 경험과 관점을 반영하는 방향으로 디자인되어야 한다(Ardito et al., 2006). 교육현장의 맥락을 고려하지 않은 채 개발된 과학 시뮬레이션은 사용성을 보장하기 어려우며, 교사와 학생의 만족도를 이끌기도 어렵기 때문이다(Coher et al., 2015).

다. 개발도구의 선정

과학 시뮬레이션의 교육적 활용성은 개발에 사용된 프로그래밍 언어에 따라

달라질 수 있다. 개발 초기에는 원하는 디자인의 과학 시뮬레이션을 구현하는데 있어 교육적 맥락에 적합한 개발도구(예, 프로그래밍 저작도구)를 선택해야 한다. 또한, 과학 시뮬레이션을 사용한 학습자가 추후 생산자로 나아갈 수 있는 장으로서 교육콘텐츠의 생태계를 조성하기 위해, 비전문가도 이용할 수 있는 쉬운 개발도구를 선택하는 편이 바람직하다. 본 논문에서는 선행문헌과 연구자의 휴리스틱⁷⁾(heuristics)에 기반하여 교육적 활용성을 갖는 과학 시뮬레이션 개발도구의 선택에 관한 4가지 기준을 제시하는 바이며(그림 III-2), 세부적으로, 최적화 여부(optimization), 호환성(compatibility), 표현 기능성(functionality), 저작의 용이성(feasibility)의 측면을 강조하고자 하였다(Ardito et al., 2006).



[그림 III-2] 과학 시뮬레이션의 교육적 활용성을 높이는 개발도구의 요건

첫째, 최적화란 개발된 콘텐츠가 모바일 기기의 프로세서 자원을 효율적으로 이용하는 특성을 가리키는 것이다. 최적화된 콘텐츠는 낮은 사양의 스마트패드에서도 동작할 수 있어 교육적 맥락에서 중요하다. 그 이유는 기술의 빠른 진보로 인해 스마트기기⁸⁾의 성능은 빠르게 상향 평준화되는 데 반해, 학교 현장에서는 매년 최

7) 휴리스틱이란 Jakob Nielsen이 사용성 평가(usability evaluation)를 위해 도입한 용어로, 경험적으로 정한 근사적인 기준을 뜻한다(Ardito et al., 2006).

8) 스마트기기(smart device)는 스마트폰(smartphone)과 스마트패드(smarpad)와 같은 핸드헬드 디바이스(hand-held device)를 총칭하는 용어이다.

신 사양의 기기를 도입하는 데 어려움을 겪기 때문이다. 따라서, 개발된 콘텐츠가 학교 현장에서 유용하게 활용되려면, 그것이 기존에 보급된 낮은 사양의 스마트기기에서도 잘 작동해야 할 것이다. 다시 말해, 최적화된 콘텐츠는 교육현장에서 활용될 가능성이 높아지므로, 이 때문에, 과학 시뮬레이션의 개발도구를 선택할 때에는 최적화 가능성을 고려할 필요가 있는 것이다.

둘째, 호환성은 운영체제의 종류에 상관없이 모든 PC, 모바일 기기에서 구동할 수 있는 특성을 가리키는 것이다. 높은 호환성을 갖는 콘텐츠(소프트웨어)는 다양한 기기에서 실행될 수 있어 교육적 맥락에서 중요하다. 그 이유는 호환성이 높은 콘텐츠만이 스마트패드와 PC 모두를 통해 작동될 수 있어 다양한 교육적 맥락에서 교사의 교수행위를 위해, 그리고 학생의 학습행위를 위해 유연하게 적용될 수 있기 때문이다. 따라서, 과학 시뮬레이션의 개발도구를 선택할 때 개발된 콘텐츠가 높은 호환성을 가질 수 있는지를 고려할 필요가 있는 것이다.

셋째, 표현 기능성은 개발자가 원하는 디자인을 시각적으로 구현하는 데 있어 요구되는 기능을 저작도구(주된 개발도구에 해당함)가 얼마나 갖추고 있는지를 가리키는 것이다. 예컨대, 과학 시뮬레이션의 내용을 시각적으로 구성하는 데 있어 편의성을 높여주는 저작도구의 기능으로는 레이어 편집, 동영상 삽입, 마스크, 펜툴, 라이브러리, 그리고 그래픽 또는 동영상을 개체 단위로 묶어주는 심볼(symbol) 기능이 있는데, 저작도구가 이러한 기능을 충분히 갖추고 있을 때 그것에 관해 표현 기능성이 높은 수준에 있다고 말할 수 있다. 저작도구의 표현 기능성은 개발자가 구현할 수 있는 시각적 표현의 다양성에 간접적으로 영향을 줄 수 있어, 과학 시뮬레이션의 개발에 사용할 저작도구를 선택할 때에는 그것이 이미 계획한 디자인을 구현하는 데 필요한 표현 기능성을 충분히 갖추고 있는지를 고려할 필요가 있는 것이다.

넷째, 저작의 용이성이란 비전문가가 저작도구를 사용하여 콘텐츠의 개발을 시도할 때 체감하는 쉬운 정도를 가리키는 것이다. 저작의 용이성을 갖춘 개발도구는 교육적 용도로 사용될 수 있으며, 또한 교사나 학생을 과학 시뮬레이션의 생산자로 이끌 수 있어 다가오는 미래 교육의 맥락에서 중요하게 고려될 것으로 예상된다.

최근 미래 교육에 관한 정책은 학생이 콘텐츠의 소비자를 넘어, 생산자가 되기를 추구한다. 쉬운 저작도구는 이러한 시대적 흐름에 걸맞게 학생의 소프트웨어 역량을 높이는 데 사용될 수 있으며, 동시에 프로그래밍에 관한 학습경험을 제공하는 데에도 활용될 수 있다. 쉬운 저작도구를 이용하여 과학 시뮬레이션을 개발할 경우, 이것이 교사나 학생이 소프트웨어의 역량을 늘리는 데 있어서 유익한 참고 사례가 될 수 있다(이영미 외, 2016). 따라서, 과학 시뮬레이션의 개발과정에서 쉬운 저작도구를 선택하는 것은 콘텐츠의 교육적 활용 가치를 잠정적으로 높여줄 수 있기 때문에, 고려할 필요가 있는 것이다.

4. 과학 시뮬레이션의 개발에서 교사의 관점

본 논문에서는 과학 시뮬레이션의 개발 및 평가의 과정에서 교사의 관점을 비중 있게 반영하고자 노력하였다. 이와 관련하여 아래에서는 참여적 디자인 연구에 관한 관점으로부터 과학 시뮬레이션의 개발에서 교사의 역할에 높은 비중을 두었던 이유를 정당화하고자 하였다.

가. 참여적 디자인

종래의 교수학습 콘텐츠 및 학습환경 개발을 위한 디자인 과정에서는 이들에 관한 실질적인 이해관계자로서 교사나 학생의 관점이 반영될 기회는 드문 편이었다. 지금까지는 개발자(교수학습설계자를 포함)와 교사, 학생의 관점이 통합되어야 한다는 당위성에 대한 학계의 공감대가 크게 형성되지 못한 상태였기 때문이다. 그로 인해, 많은 연구에서는 교사와 학생의 관점을 오직 평가단계에서만 일회성으로 결과물에 대한 ‘호불호’를 결정하기 위해 반영하고 있었을 뿐이다. 그러나 최근에는 교육적 맥락에서 소비되는 교육콘텐츠나 학습환경에 관한 개발 및 디자인에 있어서 다른 대안을 주장하는 목소리가 ‘참여적 디자인’이라는 방법을 중심으로 생겨나는 추세이다.

참여적 디자인(participatory design)은 학습효과 및 학생들의 학습 참여와 만족도를 높이기 위해, 교육콘텐츠를 비롯한 학습환경의 개발과정에서 교수학습 설계자와 교사를 비롯한 다양한 이해관계자의 전문지식과 경험을 통합하는 디자인 방법이다(Cober et al., 2015; Könings et al., 2014). 물론, 학습환경을 개발하는 데 있어서 학생의 견해도 중요하긴 하지만, 참여적 디자인에서는 디자인 과정에서 그들이 반드시 참여해야 함을 규정하지는 않는다. 학생들은 디자인에 관한 전문용어에 익숙하지 않을 뿐만 아니라, 또한, 그들이 제안하는 학습환경의 디자인 방향은 교육과정과는 무관하게 오직 흥미 위주로 나아갈 수도 있기 때문이다. 그렇기에, 개발 상황에 따라 학생들의 학습요구를 온전히 반영하는 데 한계가 예상되거나, 그들이 디자인 과정에 참여하더라도 예상되는 이점이 낮을 경우, 비록 참여적 디자인이라 하더라도, 그들의 참여는 제한될 수 있는 것이다(Könings et al., 2007). 대신에, 참여적 디자인에 따르면, 학생들의 요구는 어느 정도 교사가 대변할 수 있기 때문에(Cober et al., 2015), 학습환경에 관한 디자인 참여자로서 유력한 후보는 바로 교사 집단이라 할 수 있다. 교사들은 학생들을 가까이에서 오랫동안 관찰하고 지도해본 경험이 있으므로 학생들의 요구를 대변할 수 있으며, 또한, 교과교육학 지식도 숙달하고 있어 교육과정에 부합하는 조언을 제공할 수 있기 때문이다. 따라서, 학습환경에 관한 성공적인 디자인으로 나아가려면, 학습환경의 개발과정에서 긴밀한 협업해야 할 대상에 교사가 배제해서는 안 될 것이다.

한편, 참여적 디자인을 주장하는 대표적인 학자로서, Könings et al.(2005)는 COOP(Combination-Of-Perspectives) 모델을 통해 학습환경을 구성하는 데 있어서 고려해야 할 다양한 이해관계자들에 관하여 이들의 관점을 통합하기 위한 시각적 모델을 제시한 바 있다. 그들은 이해관계자들이 참여적 디자인을 통해 상호 이익을 얻을 수 있는 관계를 유지하면서 의사결정 또는 협력을 하는 것으로 보았고, 그들의 모델에서는 그것의 중요성을 강조하기 위해 피드백 루프를 도입하여 점선으로 표현하였다. 하지만, 그 모형은 명시적으로 표현된 디자인 프로세스에

반해, 디자인 전체에서 언제 참여할지도 모르는 잠정적인 사람들의 역할까지 모두 고려하지는 않아, 디자인 과정에서 보편적으로 사용하기는 어려운 것이었다. 사실 상, 디자인 과정에서는 개발의 맥락 및 개발에서 요구되는 역할에 따라 참여자와 참여 과정이 달라질 수 있는 데 반해, 해당 모델은 참여적 디자인에 관한 과정과 참여자들의 이해관계를 정적인 모델로 고정적으로 표현하고 있었기 때문이다.

그 대신에, Cober et al.(2015)의 연구에서는 선행문헌을 근거로, 두 가지 원칙만으로 참여적 디자인의 견지를 말하고자 하였는데, 이와 관련하여, 참여적 디자인에서는 (1) 최종 사용자가 디자인 프로세스에 직·간접적으로 참여함으로써 최종 산물의 질적 수준이 개선되어야 한다는 점과 (2) 디자인의 모든 측면에서 참여의 민주주의가 보장되어야 한다는 점을 제시하였다(Schuler & Namioka, 1993). 그 밖에도, 그들은 참여적 디자인에서 최종 사용자는 산물의 ‘사용, 유용성, 쓸모(use, usability, utility)’를 보장하기 위해 참여해야 한다는 점도 강조하였다. 이처럼 기본 원칙을 중심으로 참여적 디자인의 경계를 규정할 수 있다면, 참여적 디자인의 관점은 다양한 연구의 맥락에서 유연하게 반영될 수 있을 것으로 전망된다.

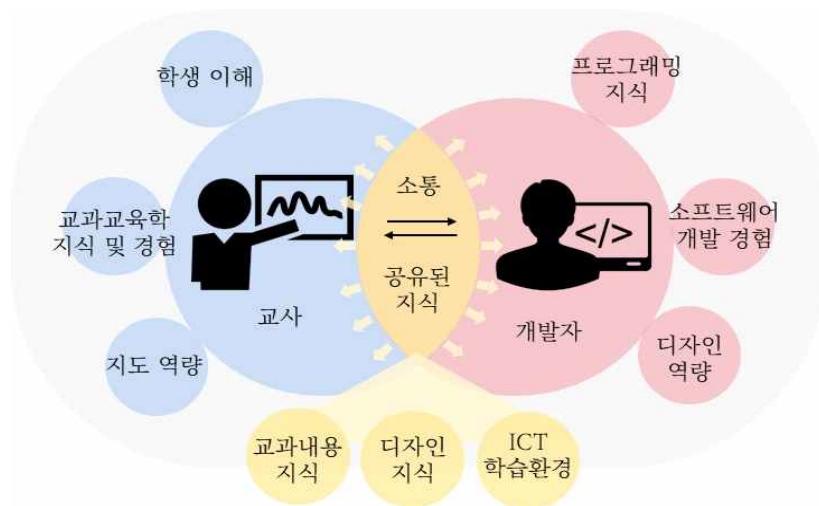
나. 과학 시뮬레이션의 개발에서 교사의 관점

참여적 디자인이 추구하는 방향이 전문지식과 경험의 통합에만 있다면, 결국, 이러한 관점에서 효율성이 높은 과학 시뮬레이션의 개발 방법은 ‘교사’가 주체가 되어, (1) 교수학습설계 및 소프트웨어 개발을 위한 지식을 얻은 다음, (2) 학생들의 학습 참여와 학습효과를 동시에 개선할 수 있는 관점을 반영하는 디자인을 통해, (3) 교수학습콘텐츠를 단독으로 개발하는 것이라 말할 수 있다(Könings et al., 2007). 그 이유는 참여적 디자인에 관한 선행연구에서는 교사가 학생의 관점을 대변하는 디자이너로서 참여할 수 있음이 제기된 바 있기 때문이며(Cober et al., 2015), 교사는 교육적이면서도, 학생들의 ‘학습 참여를 촉진’할 수 있는 콘텐츠를 개발하는 데 요구되는 경험과 지식을 제공해줄 수 있기 때문이다. 게다가

가, 교사는 고등교육을 통해 교원 자격을 부여받았기 때문에, 학생보다도 전문지식의 습득에 더 나은 이점이 있기 때문이다(Könings et al., 2007).

그러나 이러한 과학 시뮬레이션의 개발 방법은 현실적으로 불가능한 것이다. 사실상, 한 명의 교사에게 모든 소프트웨어 개발에 관한 전문성까지 요구하는 것은 무리가 있기 때문이다(Cober et al., 2015). 선행문헌(심재권, 2018)에 따르면, 교사의 ICT 학습환경 활용역량 및 테크놀로지 리터러시는 편차가 있으며, 또한, 소프트웨어 개발 경험을 가진 교사의 수는 적은 것으로 알려져 있다. 참여적 디자인에서 이해관계자들의 관점을 효율적으로 통합하기 위해 참여 그룹을 최소화하더라도, 결국, 과학 시뮬레이션의 개발에서 ‘개발자’와 ‘교사’는 참여 주체로서 남을 것으로 보인다. 이 둘의 경험과 전문지식이 개발과정에서 통합적으로 개입한다고 가정할 때, 우리는 학습효과가 보증된, 또는 학생들의 학습 참여를 이끌 수 있는 과학 시뮬레이션의 개발을 기대할 수 있을 것이다.

한편, 분산인지의 관점에서 교사와 개발자의 인지가 하나의 인지로서 작용한다고 가정한다면(Perkins, 1997), 이들에 관한 인지 모델은 아래 [그림 III-3]와 같이 표현해볼 수 있을 것이다.



[그림 III-3] 참여적 디자인에서 개발에 관여하는 인지에 관한 모델

이때, 교류기억시스템(transactive memory system)에 관한 이론에 따르면, 디자이너로서 교사와 개발자가 상호 공유할 수 있는 지식과 경험이 많을수록, 더 나은 과학 시뮬레이션의 디자인이 도출될 가능성을 생각해볼 수 있다(김동희 외, 2015). 앞서 제시한 인지 모델을 통해 말하자면, 전문지식 및 경험의 양을 면적으로 나타냈을 때, 교사와 개발자가 제각기 지녔던 경험과 지식의 교집합 면적이 넓을수록 관점의 수렴이 잘 일어날 것으로 생각된다. 교집합의 영역에는 (1) 교과내용 지식, (2) 디자인 지식, (3) ICT 학습환경에 관한 지식이 포함될 수 있을 것이다. 그 밖에도, 합집합의 면적도 중요할 것으로 여겨지는데, 이는 개발과정에서 두 참여 주체의 발산적 사고와 연관성을 제기할만한 것이다. 합집합의 영역은 창의성에 관한 영역이므로 다양한 경험, 지식, 역량이 개입할 여지가 있지만, 각자의 고유한 영역으로서 경험과 전문지식을 예로 들자면 다음과 같다. 예컨대, 교사는 개발자보다 학생에 대한 이해, 교과교육학 지식과 교수경험, 지도 역량이 앞서는 반면에, 개발자는 교사보다 프로그래밍 지식, 소프트웨어 개발 경험, 디자인 역량이 앞서는 것으로 여겨진다. 따라서, 이 둘의 인지가 하나의 인지체계로서 작동했을 때, 과학 시뮬레이션이 성공적으로 개발될 것이라 기대해볼 수 있는 것이다.

이러한 관점에 따라, 본 논문의 개발사례에서는 프로그래밍 지식과 소프트웨어 개발 경험을 지닌 ‘연구자’가 개발자로 참여하였고, 스마트교육 또는 ICT 학습환경 기반 교수학습의 경험을 보유한 ‘과학교사’들이 최종 사용자의 관점을 대변하기 위해 디자인 세미나 및 타당성 평가에 참여하였던 것이다.

IV. 연구결과

본 논문에서는 상기한 목적에 따라 사례연구방법을 통해 우리나라 중등 과학 교육의 요구로서 ‘관찰’과 ‘조작’ 경험을 유발하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 탐색하고자 하였다. 이에, 두 과학 시뮬레이션의 개발사례를 통해 관찰과 조작 경험을 위해 의도된 디자인 특성이 제각기 ‘실제적 관찰’과 ‘실제적 조작’에 관한 교육적 어포던스를 갖게 하는 특성으로 상정할만한지를 추론하고자 하였고, 더불어, 이와 관련된 디자인 요건을 제안하려 하였다. 이와 관련된 논의의 단서로서, 과학 시뮬레이션의 개발사례로부터 현상(개발 및 평가 결과)과 정황적 측면(개발 및 평가 과정)을 드러내는 사례연구의 결과물을 아래에서 제시하였다.

1. 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션 개발사례 (사례1)

본 사례에서 전반적인 초점은 탐구활동에서의 관찰 경험을 대안적으로 지원하는 콘텐츠로서 실험결과에 대해 좀 더 사실적인 현상을 보여주는 과학 시뮬레이션의 디자인 형태를 드러내는 데 있었다. 이에, 실제적 관찰에 관한 교육적 어포던스를 갖게 하는 디자인으로 ‘마스크 기능’을 통한 조화로운 동영상 클립의 도입을 제안하였고, 중학교 과학2 교과서에 제시된 탐구활동 내용으로서 ‘양금생성반응’ 실험을 중심으로, 학생들에게 좀 더 사실적인 관찰 경험을 제공하는 과학 시뮬레이션을 개발한 것이다. 이때 과학 시뮬레이션은 과학교육 전문가 1인 및 교사 3인이 참여한 디자인 세미나에서의 논의와 병행하며 개발한 것으로, 이후에 디자인에 참여하지 않은 과학교육 전문가 2인과 과학교사 4인을 대상으로 타당성 평가를 받음으로써 개발의 타당성 및 실제적 관찰에 관한 과학 교과에 특화된 디자인 특성으로서의 가능성을 확인하였다. 이에 대한 디자인 특성을 논의하기 위해, 아래에서는 본 개발사례를 (1) 디자인 제안, (2) 개발 및 평가 방법, (3) 개발 및 평가 결과를 중심으로 제시하였다.

가. ‘실제적 관찰’의 정의 및 디자인 제안

관찰은 과학자가 자연 세계로부터 과학 지식을 발견하고 구성하는 인식론적 기반이 되기 때문에 과학교육에서 중요한 과학 탐구 기능 중 하나로 강조해왔다(이은주, 강순희, 2012; Schwartz et al., 2004). 특히, 관찰은 과학교육에서 학생들이 마치 현직 과학자가 하는 것처럼 실험을 통해 관찰된 내용이 어떻게 자신의 모델을 지지하거나 반박하는지를 판단하게 하거나, 과학적 개념과 이론 모델을 신중하게 추론하게 해주는 과학 탐구 기능으로서 거듭 부각되어 온 것이다(Gilbert, 2005; Liu et al., 2008; Norris, 1985).

한편, 과학 수업에서 학생들은 관찰을 주로 탐구활동을 통해 체험하게 되는데, 이 과정에서 무엇을 어떻게 관찰하고 해석해야 할지를 배우게 된다. 이로써 학생들은 관찰 경험의 축적을 통해 타인이 제시한 실험결과의 해석이 과학 모델에 맞아떨어지는지 아닌지를 평론할 수 있게 되는 것이다(Gilbert, 2005; Norris, 1985). 그 밖에도, 그들은 관찰한 내용이 실험결과와 다를 때에는 어떻게 해석할지, 또는 관찰한 내용을 온전히 채택할지, 기각할지, 대안적 가설을 도입하여 수용할지를 판단할 수도 있게 되는 것이다(Edelson, 2001).

사실상, 관찰은 학생이 직접 ‘자신의 손과 마음으로 해보는 것’ 자체에 교육적 의미가 있으므로, 관찰 기능은 지식전달 방식(예, 강의식 수업)으로 가르치기에 적합하지 않은 것으로 여겨진다(Schwartz et al., 2004). 어쩌면, 관찰 기능을 기르는 데에는 ‘실제 탐구 맥락에서의 참여 경험’이 중요한 역할을 하는 것으로 볼 수 있는데, 그 이유는 관찰이 ‘이론 의존성(또는 이론 적재성; theory ladenness)’이 있기 때문이다(Etkina et al., 2010; Kim & Ye, 2015). 이때, ‘관찰의 이론 의존성’은 관찰 행위가 주체(예, 관찰자)가 알고 있는 이론에 따라 초점과 산출물이 다르게 나타날 수 있음을 의미하는 것이다. 즉, 이는 관찰의 주체가 얼마나 다양한 지식과 경험을 가졌는지에 따라 관찰의 질적 수준이 달라질 수 있음을 말하는 것이라 할 수 있다.

관찰에 관한 과학과 교수학습에서 정작 중요하게 고려해야 할 것은 학생이 이

러한 관찰의 본성을 이해하는지, 그리고 이에 따라 관찰의 결과를 받아들이는데 있어서 유연한 태도를 보이는데 관한 것이라 할 수 있다(조희형 외, 2014). 그 이유는 관찰을 훈련받지 않은 초보 학습자들의 경우 선개념을 포함하는 정신 모델에 일방적으로 의존하려는 태도를 보일 수 있어, 관찰 결과를 왜곡하여 해석할 가능성이 있기 때문이다(Gilbert, 2005; Norris, 1985). 그들이 올바른 과학자로 거듭나도록 하려면, 최선의 해결책은 그들이 직접 관찰을 수행할 수 있는 탐구활동의 기회를 충분히 제공하는 것이라 말할 수 있다. 특히, 강의식 수업에서 과학교과서의 삽화로부터 상상하는 관찰 경험이 아니라, 실제 탐구활동을 통해 손으로 조작하고 눈으로 직접 보는 관찰 경험이 제공될 필요가 있는 것이다. 이러한 학습경험은 학생들이 관찰의 의미와 가치를 몸소 체험하게 하며, 나아가 그들이 과학의 본성을 이해하거나 올바른 탐구 태도를 함양하는 데에도 도움이 될 것으로 기대된다(Edelson, 2001; Norris, 1985).

하지만, 우리나라 과학과 교육과정은 과학교과서에 제시된 모든 탐구 활동을 실험실 환경에서 운영하는 것을 강요하지 않기 때문에, 학생들이 관찰을 경험하는 빈도는 불가피하게도 과학교사의 사회문화적 실천 맥락에 의존할 수밖에 없다(교육부, 2015a; 신소연 외, 2018). 사실상, 과학과 교수학습에 관한 운영 결정권이 교사에게 주어지지만, 그렇다고 하더라도, 교사는 학생들에게 관찰을 경험할 기회를 충분하게 제공하는 것은 어려운 실정이다(박현주, 2013). 왜냐하면, 과학교사는 학생들에게 어떤 탐구과제를 제공할 것인지를 결정하기 위해 매번 수업시수, 교육과정, 실험실 환경 등 여러 학교 상황을 고려해야만 하기 때문이다(신소연 외, 2018).

결국, 학생들은 학교 사정을 고려한 교사의 결정에 따라 교과서에 제시된 실험 과제 중 일부만 직접 수행해볼 기회를 얻는다(박현주, 2013). 학생들이 관찰을 체험할 수 있는 탐구 활동의 기회가 현실적으로 제약을 받게 될 때, 과학교사는 탐구활동을 대체할 수 있는 대안적 교수학습을 모색해야 하는 상황에 놓이게 된다. 이때 신뢰할만한 대안적 옵션이 없다면, 결국 과학교사는 학생들이 배

워야 할 내용이 탐구활동에 관한 것이라 하더라도 불가피하게 강의식 수업을 고수하게 될지도 모른다(신소연 외, 2018; 이창윤 외, 2019b)

이와 관련하여, 과학교육에 주목하는 일부 교육공학 연구자들은 학습자에게 질적인 과학 수행 경험을 제공하는 대안적 방안으로 테크놀로지를 이용한 실제적인 학습 환경(authentic learning environment)의 구현에 주목해왔다(Edelson, 2001; Jonassen, 2010). 여기서 실제적(authentic)이란 용어는 학교 교육 현장의 ‘제약’을 고려하면서도 실제 과학자들의 과학과 밀접하게 가까운 형태를 형용하는 표현이다(Gilbert, 2004; Kim & Ye, 2015). 실제적인 학습환경은 학습자가 실생활 세계에서 비구조화된 문제를 해결하는 실무자의 활동을 체험할 수 있는 환경을 말하는데, 학습 동기를 불러일으키거나 실용적인 지식에 관한 학습을 촉진하는 학습상황을 연출할 수 있다(Jonassen, 2010; Küçüközer et al., 2008). 실제적인 학습환경은 주로 컴퓨터를 비롯한 테크놀로지를 통해 구현되기 때문에 과학 수업에서도 구현될 수 있으며, 특히, 학습자에게 질적인 탐구 경험을 제공하거나 관찰의 기회를 제공하는 데 있어 도입될 수 있다(Bevins & Price, 2016; Etkina et al., 2010).

이러한 교육적 환경의 가능성은 천문학 학습에 관한 선행연구들(Kim & Ye, 2015, Küçüközer, 2008)에서도 제기된 바 있는데, 그중에서도 Kim과 Ye(2015)는 천문학 학습에 있어서 관찰의 역할을 언급하면서 실제적인 학습환경에서 과학을 학습하더라도 현실세계에서의 관찰과 연관성이 배제되어서는 안 된다고 주장하였다. 이러한 주장은 ‘관찰’이라는 방법이 초기 학자들이 지구 중심적인 우주관에서 행성의 운동을 떠올리거나 우주, 태양, 달, 지구의 본성을 철학적으로 탐색하는 데 기여해왔던 사실들로부터 제기된 것이다. 이들의 관점에 의하면, 관찰은 현실세계처럼 잘 디자인된(well-designed) 가상세계에서도 경험할 수 있다(Kim & Ye, 2015; Küçüközer et al., 2008; Trundle & Bell, 2010). 하지만, 여기에서도 여전히 해결해야 할 문제가 남는데, 그것은 ‘잘 디자인된 가상세계’를 구현하기 위한 디자인 특성이 무엇인지를 정하는 것이다

(Bevins & Price, 2016; Prins et al., 2016).

본 사례에서는 개선된 관찰 경험을 제공하는 과학 시뮬레이션의 개발을 위해 동영상 클립의 삽입을 시도하였고, 이러한 형태의 디자인 특성과 연관되는 과학 시뮬레이션의 교육적 어포던스를 가리키기 위해 ‘실제적 관찰’이라는 용어를 정의하였다. 세부적으로, 실제적 관찰이라는 용어를 실제 탐구활동에서처럼, 학생의 조작으로부터 실험결과가 실제적인 표상(동영상 클립 등)을 통해 상호작용적으로 제시될 때 유발되는 관찰 경험을 가리키는 용어로 정의하고자 한 것이다. 따라서, 실제적 관찰은 과학 시뮬레이션과 같은 교육콘텐츠에서 실험결과가 동영상 클립을 통해 상호작용적으로 충실하게 표현될 때, 이와 관련된 디자인 특성으로부터 유발될 수 있는 것이라 말할 수 있다.

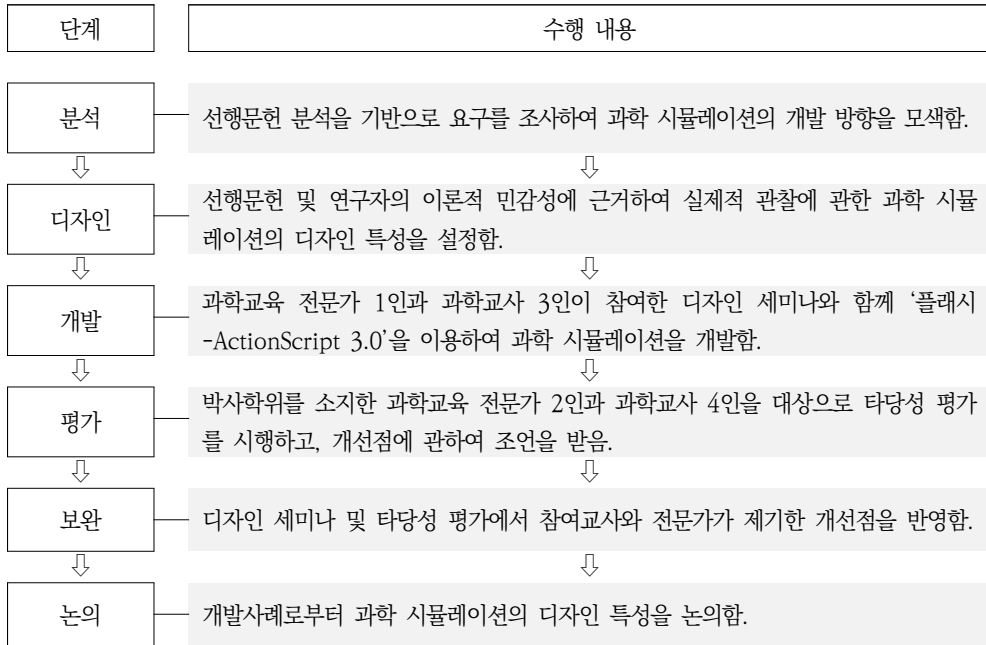
한편, 본 사례에서는 학생들의 관찰 활동을 지원하기 위해 실제 실험결과에 관한 동영상 클립을 포함하는 과학 시뮬레이션의 디자인 형태를 가리키기 위해, 실제적 관찰이라는 용어를 사용하고자 하였다. 이로써 실제적 관찰을 하나의 디자인 목표로 두고, 이와 관련된 과학 시뮬레이션을 개발하고자 한 것이다. 특히, 양금생성반응에 관한 ‘실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션’의 개발사례를 통해 과학교사가 탐구활동의 운영에 도입할 수 있는 대안적 옵션으로 혹은 학생들이 제한된 학습환경에서도 관찰을 비롯한 과학자의 활동을 실제에 가깝게 체험하도록 지원하는 새로운 학습자원으로서 과학 시뮬레이션의 가능성을 제기하고자 하였다(Davids et al., 2011; Kim & Ye, 2015). 또한, 이러한 과학 시뮬레이션의 새로운 활용을 드러내는 디자인 특성에 대해서도 시사하고자 하였다.

나. 개발 및 평가 방법

1) 개발 절차

본 개발사례에서 수행한 절차는 다음과 같이 분석, 디자인, 개발, 평가, 보완, 논의의 단계로 구분되며, 시각적 모델로서 [그림 IV-1]처럼 나타낼 수 있다. 여

기서 각 단계는 비록 일방향으로·체계적으로 진행된 것은 아닐지라도, 오직 이해를 돕기 위해 단순하고 명료한 방식으로 표현한 것이다.



[그림 IV-1] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 관한 개발 절차

2) 개발도구의 선정

본 개발사례에서는 과학 시뮬레이션을 앱⁹⁾의 형태로 개발하고자 시도하였으며, 위에서 제안한 선택기준에 부합하는 개발도구로서 Adobe사의 Flash CS6 소프트웨어를 사용하였다. 이 소프트웨어는 플래시와 Actionscript 3.0에 관한 저작을 지원하는데, 여기서 전자는 저작 산물의 파일 형식을, 후자는 이벤트를 구성하는 데 사용하는 프로그래밍 언어를 뜻한다. ActionScript 3.0은 C언어와 유사한 프로그래밍 언어로서 사용자의 조작에 따라 플래시 내 객체의 이벤트를 설계할 수 있게 한다. 예컨대, ActionScript 3.0을 활용하면 학습자가 플래시

9) 앱(app.) : 모바일 애플리케이션(application)의 준말

내에서 그래픽, 애니메이션, 동영상 클립 등으로 표현된 특정 객체를 드래그할 때 그것에 상응하는 또 다른 학습관련 표상이 상호작용적으로 제시되도록 설계할 수 있는 것이다.

한편, 플래시와 ActionScript 3.0을 이용하여 시뮬레이션을 개발하게 될 경우, 다음과 같은 장점이 예상된다(홍은정, 2013). 첫째, ActionScript 3.0은 다른 프로그래밍 언어에 비해 상대적으로 배우기 쉬운 프로그래밍 언어에 속하며, 또한, 편의성을 갖춘 저작도와 함께 제공되므로, 프로그래밍에 관한 전공지식이 없는 교사도 손쉽게 배울 수 있을 것이다. 둘째, 이 개발방식은 기기의 특성에 의존하지 않는 범용적 콘텐츠를 제작할 수 있게 해주며, 이를 통해 제작된 콘텐츠는 높은 호환성을 지니므로, 윈도우 기반 데스크톱 PC, 안드로이드, IOS 등 다양한 기기 환경에서 작동시킬 수 있다. 셋째, 플래시는 동영상 클립 압축 기술을 내장하고 있어 다양한 표상을 저용량 저사양 태블릿에서도 구현할 수 있게 해준다. 시스템 자원의 점유율이 높아 모바일 기기에 부적합한 콘텐츠로 평가되었던 이전 세대 플래시와는 달리, 최근 플래시는 ActionScript 3.0의 도입으로 인해 모바일용 게임 앱의 개발에 널리 활용되고 있으며, 또한 교육용 앱을 개발하는 데에도 주목받고 있다. 본 개발사례에서도 이러한 이점을 고려하여 개발도구로서 플래시와 ActionScript 3.0을 채택한 것이라 말할 수 있다.

3) 개발과정

본 과학 시뮬레이션의 개발은 연구자, 개발자, 교사를 중심으로 이들의 관점을 반영하는 방향으로 수행하였다. 본 연구자는 개발자의 역할을 동시에 수행함으로써 교육연구자와 개발자의 관점을 동시에 대변하고자 하였으며, 과학교육 전문가 1인과 과학교사 3인이 참여하는 디자인 세미나에서의 논의와 자문 과정을 통해 교사와 학생(교사가 대변)의 관점을 반영하고자 하였다. 실제로, 연구자는 선행문헌의 디자인 원리와 개인적 경험과 관련되는 이론적 민감성에 기반하여 과학 시뮬레이션 앱의 프로토타입을 제작하였으며(Strauss & Corbin, 1998),

과학교육전문가 및 과학교사들과 함께 두 차례 디자인 세미나를 통해 그들의 전문지식과 교직 경험을 중심으로 디자인을 논의하였다. 그 밖에도, 연구자는 디자인 세미나 이외에도 디자인 참여자들에게 면대면 상황에서 직접적인 조언을 받아 그들의 관점을 개발과정에 적극적으로 반영하고자 하였다. 이때 개발된 과학 시뮬레이션은 타당성 평가를 받음으로써 개발의 적합성을 판단하였다.

4) 평가 도구 및 분석 방법

본 사례에서 개발한 과학 시뮬레이션은 디자인 세미나에 참여하지 않았던 제3의 과학교육 전문가 2인과 현장 과학교사 4인을 대상으로 타당성 평가를 시행함으로써 평가하고자 하였다(Grant & Davis, 1997). 타당성 평가는 주로 본 과학 시뮬레이션이 실제적 관찰에 관한 디자인 특성을 포함하는지를 과학교사 및 과학교육 전문가로부터 묻기 위해 시행하고자 한 것이다. 이때, 사용성 평가 대신에, 타당성 평가를 채택한 것은 ‘과학 시뮬레이션의 개발을 위해 제안된 디자인 특성’이 새로운 플랫폼(일종의 컨테이너)을 구현하는 방식보다는 ‘내용’을 표현하는 방식(일종의 콘텐츠)과 더 깊은 연관성이 있었기 때문이다(Ardito et al., 2006; Grant & Davis, 1997). 그로 인해, 본 평가 과정에서는 콘텐츠 측면에서 타당성을 다루고자, 내용 전문가로서 과학교사 및 과학교육 전문가의 평가내용에 높은 비중을 두었던 것이며, 반면, 학생을 대상으로 하는 평가는 시행하지 않았던 것이다(Grant & Davis, 1997).

타당성 평가는 Grant & Davis(1997)가 제안한 형식에 따라 제작한 평가 설문지를 중심으로 시행하였으며, 이때 평가 설문지는 본 과학 시뮬레이션이 실제적인 실험결과를 보여주는 시뮬레이션으로 적합한지를 타당성, 가시성, 유용성, 보편성, 이해도 차원에서 묻는 4단계 리커트 척도 문항을 중심으로 아래 <표 IV-1>과 같이 수정하여 사용하였다(나일주, 정현미, 2001; 이창윤 외, 2015). 그 밖에도, 평가 설문지에는 이번 개발 결과에 대해 예상되는 장점, 단점, 개선점을 묻는 서술형 문항을 포함하였다(박태정, 2015).

〈표 IV-1〉 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 설문지

| 영역 | 문항 |
|-----|---|
| 타당성 | 본 앙금생성반응 시뮬레이션이 실제적인 실험결과를 보여주는 시뮬레이션으로 타당하다. |
| 가시성 | 본 앙금생성반응 시뮬레이션이 실제적인 실험결과를 잘 보여주고 있다. |
| 유용성 | 본 앙금생성반응 시뮬레이션이 실제적인 실험결과를 보여주는 시뮬레이션으로 교육 현장에서 유용하게 활용될 수 있다. |
| 보편성 | 본 앙금생성반응 시뮬레이션이 실제적인 실험결과를 보여주는 시뮬레이션으로 교육 현장에서 보편적으로 이용될 수 있다. |
| 이해도 | 본 앙금생성반응 시뮬레이션이 중학교 학생들이 이해하기 쉽게 표현되어 있다. |

평가 참여자로서, 과학교육 전문가 2인은 과학교육과에서 박사학위를 받은 연구원과 현직 교사였으며, 과학교사 4인은 모두 중학교와 고등학교에 재직 중인 경력 7년 이상의 현직 교사였다(표 IV-2). 이들은 이번 평가 과정에 참여함으로써, 연구자의 안내에 따라 과학 시뮬레이션을 체험한 다음 타당성 평가 설문지를 작성하였다. 또한, 이후, 작성한 평가내용을 중심으로 면담에도 참여하였다.

〈표 IV-2〉 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 참여자

| 참여교사 코드 | 전공 분야 | 최종학력 | 소속 직책 | 경력 |
|------------|------------|------|---------|--------|
| A 과학교사 | 화학교육 | 석사 | 중학교 교사 | 교직 9년 |
| B 과학교사 | 화학교육 | 석사 | 중학교 교사 | 교직 15년 |
| C 과학교사 | 생물교육 | 학사 | 중학교 교사 | 교직 7년 |
| D 과학교사 | 화학교육 | 석사 | 고등학교 교사 | 교직 8년 |
| A 과학교육 전문가 | 과학교육(물리교육) | 박사 | 박사후 연구원 | 실무 2년 |
| B 과학교육 전문가 | 과학교육(물리교육) | 박사 | 중학교 교사 | 교직 22년 |

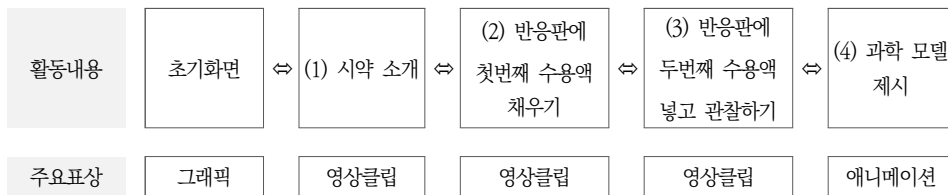
(위 참여교사 코드의 순서는 임의 배열한 것임.)

이와 관련된 평가 자료의 분석은 주로 평가 참여자들이 응답한 평가 설문지 내용을 중심으로 시행하였다. 4단계 리커트 척도 문항을 통해 응답한 내용에 관해서는 3점과 4점을 긍정적 응답으로, 1점과 2점을 부정적 응답으로 코딩한 다음, Rubio et al.(2003)가 제안한 내용 타당도 지수(CVI)와 평정자 간 일치도(IRA) 지수를 중심으로 평가 응답 내용을 분석하였다.

다. 개발 및 평가 결과

1) 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션의 구성

첫 번째 사례에서 개발한 과학 시뮬레이션은 실험 과정과 결과를 동영상 클립으로 제시함으로써 실제적 관찰을 의도한 것이다. 여기에는 기존 시뮬레이션의 상호작용적 특성으로부터 이온 모델을 체험할 수 있는 활동도 함께 포함한다. 과학 시뮬레이션의 내용 순서는 [그림 IV-2]와 같이 선형적, 양방향적으로 구성된다. 세부적으로, 학생들이 ‘앞으로 가기’ 또는 ‘뒤로 가기’ 버튼을 통해 순차적으로 내용에 접근할 수 있게 의도한다. 이러한 내용 제시 방식을 채택한 것은 두뇌의 실행 기능(executive function)이 발달하지 않은 초보자에게 적합하기 때문이라 말할 수 있다(Perkins, 1997).



[그림 IV-2] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에서 내용 구성 순서

각 단계에 대한 설명은 다음과 같다. (1) 초기 시약 소개 단계에서는 반응에 사용하는 시약의 수용액이 대부분 투명하다는 것을 동영상 클립을 통해 보여준다. 여기서 학생들은 이번 실험에 사용하는 시약이 대부분 초기에는 투명했었다는 것을 인지할 수 있을 것이다. (2) 다음에 제시되는 두 단계는 반응판에 수용액을 채우고, (3) 반응시키는 활동이 제시된다. 학생들이 화면에 표시된 화살표가 그려진 원을 제각기 터치(클릭)할 때마다 실험 과정과 결과는 모두 동영상 클립을 통해 상호작용적으로 제시된다. (4) 관찰 활동 이후에는 이온에 관한 과학 모델(이하 ‘이온 모델’)을 체험하는 활동이 포함되어 있다. 이온 모델은 두 비커에 담긴 용액을 섞으면, 양금생성반응 과정에서 이온의 참여가 애니메이션 형태

로 나타난다. 이러한 상호작용적 모델 제시는 기존 과학 시뮬레이션이 갖는 장점에 해당하는 것이라 할 수 있다. 이처럼 본 개발사례에서는 실제적 관찰에 주목하더라도, 적절하게 기존 과학 시뮬레이션의 장점을 유지하고자 하였다.

한편, 본 과학 시뮬레이션의 디자인 특성은 ‘실제적 관찰’과 ‘이온 모델의 상호작용적 제시’ 측면에 있다고 할 수 있으므로, 이와 관련된 디자인 내용은 다음 단락에서 자세히 기술하고자 한다.

2) 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션의 디자인

개발된 과학 시뮬레이션에서 실제적 관찰을 의도한 디자인의 예시를 [그림 IV-3]와 [그림 IV-4]에 제시하였다. [그림 IV-3](a)는 시뮬레이션을 실행했을 때 초기화면이며, 시작하기 버튼을 누르면 다음 화면으로 넘어간다. [그림 IV-3](b)에서는 준비물 시약의 동영상 클립이 제시된다. 각 시약의 이름이 적힌 비커를 터치할 경우, 해당 시약을 녹인 수용액의 색상을 보여주는 동영상 클립이 비커 위에 재생된다. 다른 비커를 누를 경우, 이전 시약에 관한 동영상 클립은 종료되면서 동시에 새로운 시약에 관한 동영상 클립이 재생된다. 이 화면에서 학습자는 실제 수용액의 색상을 직접 확인할 수 있다. [그림 IV-3](c)는 실험활동을 위한 준비과정으로서 반응판에 첫 번째 시약을 넣는 장면이다. 원형 화살표 아이콘을 클릭할 경우 반응판의 각 줄에 첫 번째 용액을 넣을 때 동영상이 재생된다. 이 단계는 실험결과의 관찰과는 직접적인 관계가 없으나, 학습자가 일련의 실험활동 과정을 연속적으로 체험할 수 있게 유도한다. [그림 IV-3](d)는 관찰활동에 관한 장면으로, 화살표 버튼을 누르면 두 번째 용액을 반응판에 비동시적으로 넣을 수 있다. 본 시뮬레이션은 2009 개정 교육과정을 따르는 중학교 2학년 과학 교과서 9종에 제시된 양금생성반응 실험을 포함하며 총 4개의 실험 세트를 제공한다.



(a) 초기화면

(b) 시약 소개(준비물)



(c) 첫 번째 시약 준비 장면



(d) 두 번째 시약 넣는 장면

[그림 IV-3] 양금생성반응 과학 시뮬레이션의 내용구성 예시

[그림 IV-4](a)에 나타난 반응판은 가로축에는 BaCl_2 , KCl , CaCl_2 , NaCl , 세로축에는 AgNO_3 , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 시약을 듬으로써 이들 간 반응의 동적인 과정과 결과를 보여준다. 같은 방식으로, [그림 IV-4](b)에 나타난 반응판은 가로축에는 묽은 HCl , KI , 수돗물, 증류수, 세로축에는 AgNO_3 , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 를 포함함으로써 이들 간 반응을 보여준다. [그림 IV-4](c)에 나타난 반응판의 가로축은 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , NaNO_3 , 세로축은 AgNO_3 , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 시약을 포함한다. [그림 IV-4](d)에 나타난 반응판의 가로축은 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, CdCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, AgNO_3 , 세로축은 Na_2S , KI , Na_2CO_3 시약으로 구성된다. 이 실험의 경우, 색깔이 있는 양금이 생성되는 반응을 포함하기 때문에 반응판 바닥에 흰 종이를 배치하였다. 한편, 각 수용액의 이름표는 학생들이 생성된 양금의 화학식을 예측하도록 돕기 위해, 양이온은 밝은 청록색, 음이온은 빨간색으로 구분하여 표기하였다.



(a) 첫 번째 반응판(염화 이온을 포함한 화합물)



(b) 두 번째 반응판(소량의 이온을 포함한 물질 등)



(c) 세 번째 반응판(질산 이온을 포함한 화합물)



(d) 네 번째 반응판(색을 띠는 양금을 생성하는 화합물 등)

[그림 IV-4] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 포함된 네 가지 실험 세트의 결과

3) 이온 모델에 관한 시뮬레이션의 디자인

본 과학 시뮬레이션의 후반부에는 앞서 관찰한 경험을 기반으로 학습자가 이온 모델을 체험할 수 있는 장면이 제공된다. [그림 IV-4](a)는 이온 모델에 관한 화면을 나타낸다. 상단에는 9개의 양금(CaSO_4 , BaSO_4 , CaCO_3 , BaCO_3 , AgCl , PbI_2 , CdS , PbS , CuS)에 대한 이온 모델을 불러오는 버튼이 제시되어 있으며, 누를 경우 화학 반응식과 함께 움직이는 이온이 담긴 두 비커가 제시된다. 두 비커는 끌어 움직일 수 있으며, 겹칠 경우, 양금생성반응 과정에 대한 애니메이션이 재생된다. [그림 IV-5](b)는 스마트패드에서 실제로 두 비커를 겹쳤을 때 나타나는 또 다른 비커 내 애니메이션 화면의 예이다. 양금생성반응에 관여하는 두 원자 또는 원자단이 만나서 양금을 생성하는 과학 모델이 나타나며, 이어서 비커의 바닥에서 양금이 가라앉는 모습이 동적으로 제시된다.



(a) 이온 모델에 관한 장면



(b) 스마트패드에서 이온 모델 화면 예시

[그림 IV-5] 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 포함된 이온 모델

다. 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 대한 타당성 평가

본 과학 시뮬레이션은 디자인 과정에 개입하지 않았던 제3의 과학교육 전문가 2인과 과학교사 4인으로부터 타당성 평가를 받았다. 평가에 참여한 전문가들은 아래 <표 IV-3>과 같이, 본 시뮬레이션이 실제적 관찰에 관한 디자인 특성을 포함하는지 묻는 설문 문항에서 긍정적으로 응답을 하였다. 정량적 관점에서 살펴보면, 이번 타당성 평가 결과는 4점 척도에서 평균이 3.63이므로 상당히 높은 편이라 말할 수 있다. 평가 설문의 각 문항 응답 결과에서 1, 2점을 '부정적 응답'으로, 3, 4점을 '긍정적 응답'으로 분류했을 때, 내용 타당도 지수인 CVI(Content Validity Index) 평균과 평정자 간 일치도인 IRA(Inter-Rater Agreement) 평균도 모두 1.0으로 매우 높게 나타났다(Rubio et al., 2003).

<표 IV-3> 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 결과

| | 타당성 | 가시성 | 유용성 | 보편성 | 이해도 |
|------|------|------|------|------|------|
| 평균 | 3.83 | 3.83 | 3.67 | 3.67 | 3.17 |
| 표준편차 | 0.37 | 0.37 | 0.47 | 0.47 | 0.37 |

라. 실제적 관찰에 대한 디자인 요건

전술한 개발 결과와 더불어, 긍정적으로 나타난 평가 결과는 동영상 클립과

같이 좀 더 사실적인 표상을 도입함으로써 개발된 과학 시뮬레이션에 대해 실제적 관찰(개선된 관찰 경험으로서)에 관한 교육적 어포던스를 갖게 하는 것으로 상정할만한 단서로서 간주된다. 이에 따르면, 본 사례에서 개발된 과학 시뮬레이션은 ‘실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션’이라 말할 수 있는 것이다.

이와 관련하여, 본 사례에서는 다른 학습 내용에 관한 과학 시뮬레이션의 개발에서도 실제적 관찰에 관한 교육적 어포던스를 갖게 하는 디자인 요건을 시사하고자 하였다. 이를 위해, 연구자는 이론적 민감성 및 개발 경험에 기반하여 이러한 교육적 어포던스와 관련될 수 있는 디자인 특성을 반복적으로 비교·검토하였고, 이로써 전이가능성(transferability)을 제기할만한 범주를 중심으로 디자인 요건을 추렸다. 그 결과로서, 실제적 관찰에 관한 과학 시뮬레이션의 디자인 요건은 아래 <표 IV-4>와 같이 도출하였다.

<표 IV-4> 실제적 관찰의 교육적 어포던스를 위한 디자인 요건

| 고려사항 | 기존 한계점 | 디자인 방향 | 실제적 관찰의 교육적 어포던스 요건 |
|-----------|---|----------------------|--|
| 표상의 상호작용성 | 기존 과학교과서는 탐구활동의 실험결과를 정적으로만 제시하였기 때문에, 학생들이 학습에 능동적으로 참여할 기회를 충분히 제공해주지 못했다. | 상호작용적 콘텐츠 특성 강화 | 학습자의 조작에 ‘상호작용적’으로 반응함으로써 그에 상응하는 학습 정보나 학습 관련 피드백을 ‘실시간’으로 제공하는 형태로 구성되어야 할 것이다. (개발 전략 : 과학 시뮬레이션의 형태로 개발) |
| 표상의 사실성 | 기존 과학 시뮬레이션은 실험결과를 그래픽이나 애니메이션과 같이 인위적인 표상으로 제시해왔기 때문에, 학생들은 그와 관련하여 동적으로 일어나는 실제 현상을 관찰할 기회가 제공되지 않았다. | 마스크 기능을 통한 동영상 클립 도입 | 실험결과에 대해 관찰을 유도할 목적으로 어떠한 현상을 제시하려면, 인위적으로 구성된 표상보다는 좀 더 실제적인 표상을 채택해야 할 것이다. (개발전략 : 마스크 기능을 통해 동영상 클립을 도입) |
| 과학 모델 제시 | 기존 교과서 중심 실험 수업에서는 현상에 관하여 과학적 모델과 연관 지어 사고할 기회를 충분히 제공해주지 못했다. | 모델 제시 방식 승계 | 실험결과를 설명하는 모델의 이해를 돕기 위해, 기존 과학 시뮬레이션의 방식처럼, 과학적 모델의 단순화된 인위적인 표상으로 제시하는 방식을 활용해야 할 것이다. (개발전략 : 모델 체계를 위한 콘텐츠를 포함) |

이번 실제적 관찰에 관한 디자인 요건에서는 종래의 과학교육용 콘텐츠의 한계

접이자 향후 개발에서 고려해야 할 디자인 기준으로 (1) 표상의 상호작용성, (2) 표상의 사실성, (3) 과학 모델 제시 측면을 선정하였고, 상기한 세 가지 고려사항을 반영하기 위한 디자인 방향으로, (1) 상호작용적 콘텐츠 특성 강화, (2) 마스크 기능을 통한 동영상 클립 도입, (3) 모델 제시방식 승계를 강조하였다. 따라서, 실제적 관찰에 관한 디자인 요건에 충족하려면, 과학 시뮬레이션의 개발과정에서 다음의 세 가지 측면을 중요하게 고려해야 할 것이다.

첫째, 표상의 상호작용성 측면에서 기존의 과학 시뮬레이션처럼 학습자의 조작에 상호작용적으로 반응함으로써 그에 상응하는 학습정보를 실시간으로 제공하는 형태로 구성되어야 할 것이다. 이를 반영하기 위해, 본 사례에서는 플래시-ActionScript 3.0에 기반하여 사전에 구성된 ‘이벤트¹⁰⁾’에 의해 작동되는 과학 시뮬레이션의 앱을 개발하였고, 이를 통해 학습자의 조작에 대한 적절한 학습 정보와 피드백을 제공하고자 하였다.

둘째, 표상의 사실성 측면에서 학생들에게 좀 더 나은 관찰 경험을 유도하기 위해 그래픽이나 애니메이션과 같이 인위적인 표상이 아닌, 사실적인 표상으로서 동영상 클립을 도입해야 할 것이다. 특히, 동영상 클립의 자연스럽고 유연한 삽입을 위해, 저작도구에서 지원하는 ‘마스크 기능’을 활용할 수 있을 것이다. 마스크 기능은 가공되지 않은 ‘원객체(raw-object)’와 자유롭게 그릴 수 있는 ‘도형’을 겹쳤을 때, 둘 사이에 겹치는 부분만 표시되게 하여 원객체의 경계를 변형시키는 기능이다. 이 기능을 통해 서로 다른 표상 간 화면배치(layout)에서 나타나는 부자연스러움을 최소화할 수 있을 것으로 기대하였다. 실제로, 이를 반영하기 위해 본 사례에서는 플래시-ActionScript 3.0에 기반하여 마스크 기능을 통해 실험결과에 관한 동영상 클립을 도입함으로써 학생들에게 실제적인 관찰 경험을 제공하고자 하였다. 이에, 중학교 과학 2의 전형적인 탐구활동인 앙금생성반응 실험을 중심으로, 반응판은 그래픽 표상을 통해, 앙금생성반응은 스

10) 이벤트란 사용자의 입력(터치, 드래그 등)에 상응하여 반응하는 객체의 상호작용적인 특성을 결정하는 프로그래밍에 관한 로직을 뜻한다.

마르폰으로 직접 촬영한 동영상 클립을 통해 표현하였다. 이때 마스크 기능은 사각 모양의 동영상 클립을 반응판 그래픽 객체와 자연스럽게 조화시키기 위해 아래 [그림 IV-6]과 같이 적용하였다.



[그림 IV-6] 마스크 기능을 통한 동영상 클립의 모양 변형

셋째, 모델 제시의 측면에서 학생들에게 실험에 관한 과학적 모델의 체험 기회를 제공하기 위해 기존 과학 시뮬레이션의 특성인 단순화된 인위적 표상을 여전히 활용해야 할 것이다. 물론, 관찰의 측면에서는 동영상 클립이 사실적인 표상으로서 유리하겠지만, 모델체험을 위한 장면을 구성하는 데에는 그래픽이나 애니메이션과 같은 단순화된 표상이 유리하기 때문이다(de Jong, 2011). 따라서, 본 사례에서는 이온 모델을 제시하는 데만큼은 단순화된 애니메이션 표상을 학생들이 상호작용적으로 조작하였을 때, 그것에 상응하여 시각적으로 변화하도록 하는 기존 과학 시뮬레이션의 방식을 승계하고자 하였다. 이러한 이온 모델 표현방식을 통해 학생들이 실험에서 관찰한 현상을 과학적 모델과 연관 지어 사고하도록 돕는 데에도 본 과학 시뮬레이션의 유용성을 높이하고자 하였다.

이들이 우리나라 중등 과학교육의 요구로서 실제적 관찰에 관한 과학 시뮬레이션의 디자인 특성이라 할 수 있는지는 개발사례의 의의와 함께 논문의 후반부에서 다시 논의할 것이다.

2. 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션 개발사례 (사례2)

본 사례에서 전반적인 초점은 중등 과학교육에서 추상적인 과학개념 및 과학 모델의 학습을 돕는 대안적 콘텐츠로서 추상적인 학습 내용을 암묵적·연계적으로 제시하는 과학 시뮬레이션의 디자인 형태를 드러내는 데 있었다. 이에, 증강현실의 ‘모델 타겟’ 기술에 기반하여 외적인 인지 부하를 가중하지 않는 형태라 할 수 있는 텐저블 모델 교구(증강현실을 불러오기 위한 마커로서)와 그 자체를 매개로 학습 내용을 제시하는 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 구현방식을 ‘실제적 조작’에 관한 디자인 특성이라 제안하였고, 이에 기반하여 고등학교 화학 I의 ‘전자 배치 모델’에 관한 학습 내용을 중심으로 학생들에게 과학 모델의 이해를 돕는 조작 경험을 제공하는 과학 시뮬레이션을 개발한 것이다. 이때 과학 시뮬레이션은 과학 교사 1인과의 반복적인 논의를 통해 개발한 것으로, 이후에 과학교사 6인을 대상으로 타당성 평가 및 면담을 시행함으로써 실제적 조작에 관한 과학 교과에 특화된 디자인 특성의 가능성을 확인하였다. 이에 대한 디자인 특성을 논의하기 위해, 아래에서는 본 개발사례를 (1) 디자인 제안, (2) 개발 및 평가 방법, (3) 개발 및 평가 결과를 중심으로 제시하였다.

가. ‘실제적 조작’의 정의 및 디자인 제안

과학과 교육과정에서는 학생들의 인지발달 수준을 고려하여 학생들이 배워야 할 학습 내용을 단계적으로 나열하고 있다(교육부, 2017). 하지만, 과학과 교육 과정은 개정 시기마다 학습 내용을 ‘추가’ 또는 ‘제거’함으로써 또는 ‘순서를 바꿈’으로써 제시하는 방식을 택하고 있어, 불가피하게 어떤 과학적 개념이나 이론의 분절화를 수반해 왔다(이효녕, 여채영, 2015). 이러한 과학과 교육과정으로부터 학생들은 과학개념과 이론을 단편적으로 이해하는 수준을 넘어서기 어렵게 되고, 결국 암기식 학습방법에 의존하게 되는 것이다(김창곤, 2003).

이에, 본 사례에서는 과학과 교육과정의 방향과 학생들의 과학 학습 현실 사

이에서 발생하는 온도 차를 줄여줄 수 있는 도구로 증강현실 기반 과학 시뮬레이션을 제안하는 것이다. 특히, 이를 통해 기존 과학과 교육과정의 방식과는 달리 학습자의 이해수준을 고려하기 위해 학생들이 배워야 할 과학 지식의 추상성을 낮추는 방안으로 현실세계에서의 ‘조작 경험’을 강조하고자 하였다. 이러한 학습 환경을 구현하기 위해, ‘증강현실 기술’과 ‘텐저블 모델 교구’에 주목하였고, 기존 증강현실 기반 교육 연구의 접근법과는 달리, 전자는 모델 타겟 기술의 도입을 통해, 후자는 3D프린팅 모델 교구의 제작을 통해 마련하고자 하였다. 이러한 두 가지 조합은 종래의 연구에서 시도된 바가 없었기 때문에, 이와 관련된 교육적 어포던스도 거의 알려지지 않았다. 본 사례에서는 ‘3D프린팅 모델 교구’에 대한 ‘모델 타겟’으로부터 구현되는 증강현실 기반 교육콘텐츠에서 기대되는 잠재적인 교육적 어포던스를 지칭하기 위해 아래에서 새롭게 용어의 정의를 시도한 것이다.

한편, 조작을 통한 학습은 ‘왜 그런지’에 대한 설명을 배제하더라도 학생들이 그것에 익숙하게 만들 수 있다(de Jong, 2011; Gillet et al., 2005). 기존 과학과 교육과정의 방식이 학생들의 수준에 따라 학습 내용을 선택적으로(분절화하여) 추가하거나 제거해왔다면, ‘조작 경험’을 이끄는 학습방식에서는 구체적인(분절된) 학습 내용을 명시하지 않더라도 그것의 이해를 이끌 수 있게 되는 것이다. 이때, 조작 경험은 ‘이유를 묻지 않는’ 자연스러운 체험으로 이어지게 할 수 있다는 점에서 마치 언어 학습에서 말하는 ‘모국어’의 학습과도 비슷하다고 볼 수 있다. 영어권 국가에 사는 초등학생이 ‘문법’을 모르더라도 한국에서 태어나 10년 이상 ‘문법’을 공부한 대학생의 영어를 이해할 수 있는 것처럼, 조작 경험은 ‘과학적 원리’나 ‘규칙’, ‘설명체계’를 사전에 명시하지 않더라도 학생들이 그와 관련된 현상을 그들의 사고의 범주에 가져갈 수 있게 해줄 수 있기 때문이다. 이러한 조작 경험을 통한 과학 학습은 과학과 교육과정에서 발생하는 복잡한 설명체계의 단편화로 인한 문제점을 해소할 수 있게 해줄 것으로 전망된다. 결국, 조작 가능한 어떤 과학 모델 교구를 통해 학생이 과학적 원리, 규칙, 설명 체계를 암묵적으로 체험할 수 있게 제시하기만 한다면, 학생들은 복잡한 과학

현상이라 하더라도 거부감 없이 이해할 수 있을 것이다(정연화, 이정민, 2015; 조희형 외, 2014; Gillet et al., 2005).

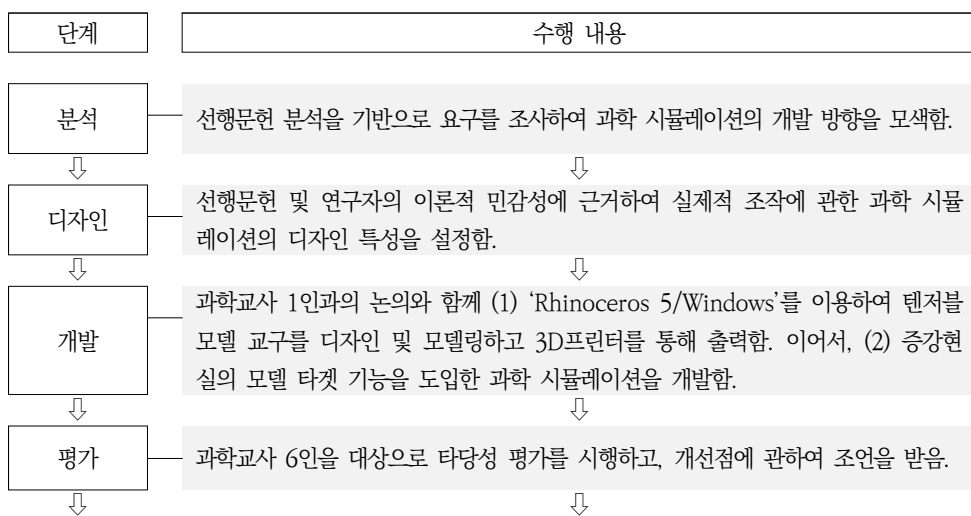
이와 관련하여, 과학적 개념이나 법칙, 원리, 규칙, 이론을 포함하는 과학 학습의 대상이자, 시각적으로 또는 조작 가능한 3차원의 형태로 표현할 수 있는 것에는 ‘과학 모델’이 있다. 과학 모델은 실제 존재하는 것에 관한 것은 아니지만, 어떤 자연현상의 이해를 돕는 과학적 지식 또는 설명체계를 나타낼 수 있어 과학 학습에 중요한 도구로 여겨지고 있다(조희형 외, 2014). 과학교육에서 과학 모델은 주로 사진이나 그래픽 형태의 삽화로 표현되어 교과서에 실리고 있지만, 애니메이션이나 가상세계의 상호작용적인 객체로 표현할 수도 있으며, 나아가 현실세계에서 텐저블 모델 교구로도 구현할 수 있다. 학생의 수준과 기호에 따라 편차가 있긴 하나, 전형적으로 과학 모델을 통한 과학 학습에는 학생이 현실 세계에서 자신의 ‘손’으로 직접 ‘조작’할 수 있는 교구의 효용이 알려져 있으며, 최근에는 이것을 학습과 연결 짓도록 돕는 학습 시스템이 함께 제기되고 있다(계보경, 김영수, 2008; Chen et al., 2011; Cuendet et al., 2013; Rutten et al., 2012). 이들에 상응하는 요소를 다르게 표현해보면, 결국 과학 모델의 학습하는 데 있어서 중요하게 고려해야 할 것은 현실세계에서 ‘조작 경험’을 지원하는 모델 교구와 교구를 조작하는 행위를 원래 학습 대상과 이어주는 ‘맥락적 개념연결 매개자’인 것이다. 이때, 이 둘의 특성을 포함하는 학습행위 중에서도 더 나은 과학 학습의 형태를 정의하기 위해, 텐저블 모델 교구의 조작 행위와 그에 상응하는 실제 학습 대상을 연결 짓도록 돕는 시뮬레이션 형태의 학습 시스템을 통해 과학 모델을 효과적으로 학습하게 하는 교육적 어포던스를 ‘실제적 조작(authentic manipulation)’이라고 정의하였다. 실제적(authentic)이란 용어는 교실의 제약을 고려하면서도 현역 실무자들의 수행 또는 그들의 주변 환경에 가까운 형태를 형용할 때 사용되어왔지만(Gilbert, 2004; Kim & Ye, 2015), 사실상 ‘원래 대상(학습 대상)과의 연결의 의미’를 내포하고 있어, 본 정의에도 적합한 것으로 판단하였다.

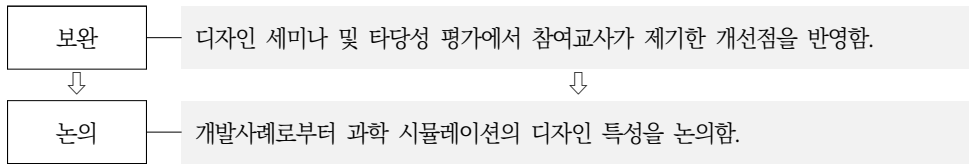
이와 관련하여, 본 사례에서는 초기에 상기한 용어 도입의 정당성으로부터 실제적 조작을 유발하기 위한 디자인 요건으로, (1) 모델 교구의 효용 확장, (2) 상호작용적 콘텐츠 특성 강화, (3) 학습 내용의 암묵적·연계적 제시 가능성을 설정하였고, 이들을 충족하여 과학 시뮬레이션을 개발하였을 때, 그것이 ‘중등 과학교육’의 콘텐츠로 활용 가능성을 제기할만한 것인지를 알아보고자 하였다. 또한, 이러한 적합성에 공감하는 과학교사들과의 면담으로부터 실제적 조작이 포함하는 과학 시뮬레이션의 디자인 방향이 중등 과학교육에 부합하는 것인지도 귀추적 논리로써 논의해보고자 하였다.

나. 개발 및 평가 방법

1) 개발 절차

본 사례에서 수행한 절차는 다음과 같이 분석, 디자인, 교구 개발, 콘텐츠 개발, 평가, 보완, 논의의 단계로 구분되며, 시각적 모델로서 [그림 IV-7]처럼 나타낼 수 있다. 여기서 각 단계는 비록 일방향으로·체계적으로 진행된 것은 아닐지라도, 오직 이해를 돕기 위해 단순하고 명료한 방식으로 표현한 것이다.





[그림 IV-7] 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션에 관한 개발 절차

2) 개발도구의 선정

(1) 텐저블 모델 교구의 제작을 위한 도구들

텐저블 모델 교구의 설계에는 모델링 소프트웨어로서 Rhinoceros 5/Windows를 사용하였고, 모델링을 통해 구현된 모델 교구를 출력하는 데에는 3D프린터를 사용하였다. 모델 교구의 모델링 소프트웨어로서 Rhinoceros 5/Windows가 채택된 것은 곡면을 포함하는 모델의 디자인과 정확한 치수를 요구하는 모델을 제작하는 데 있어서 유용한 기능을 포함하고 있었기 때문이다. 또한, 높은 수준의 호환성을 가지고 있어, 다른 모델링 소프트웨어에서 저장된 파일을 불러오는 것과 제작된 모델을 다양한 파일 확장자로 내보내기를 하는 것도 가능했기 때문이다. 모델링 소프트웨어는 높은 호환성을 지닐수록 기존에 구성한 모델을 증강현실 저작도구 소프트웨어로 불러오기가 쉬워지므로, 이처럼 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션의 개발에서 모델링 소프트웨어의 호환성 수준은 사전에 고려될 필요가 있다. 한편, 모델 교구를 출력하기 위한 3D프린터의 선정에는 경제성, 사용의 편의성, 출력의 정밀성, 관리의 용이성을 주로 고려하였다. 그 결과로서 시중에 유통 중인 세 종류의 3D프린터(Anet A8, Cubicon Style-220C, Creatable D3)를 도입하였고, 모델 교구의 출력에 고루 활용하였다.

(2) 증강현실 기반 과학 시뮬레이션을 위한 저작도구

증강현실 콘텐츠의 개발을 위한 저작도구로는 ‘유니티’와 ‘언리얼엔진’이 주로

알려져 있다. 이번 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 개발에는 본 저자의 선행 연구(이창운 외, 2018)에서 제시한 개발도구의 선정 기준과 같이, 최적화 여부, 호환성, 표현 기능성, 저작의 용이성을 고려하여 증강현실의 개발도구로 ‘유니티’를 채택하였다. 그 밖에도 유니티를 선정한 데에는 ‘에셋(assets)’의 제작 및 판매(또는 공유)에 참여하는 커뮤니티의 규모가 크다는 점이 함께 고려되었다.

에셋은 일종의 중간 작업물로서 파워포인트의 서식(template)처럼 개발자가 개발과정에서 참고할만한 표상(머티리얼 등), 객체 또는 기술적 자원을 총칭하는 용어이다. 유니티의 에셋 커뮤니티는 프로그램 자체에 하나의 기능으로서 포함되어 있으며, 개발자가 매번 반복해야 하는 작업의 노동량을 덜어줌으로써 단체가 아닌 개인도 얼마든지 높은 수준의 콘텐츠를 개발할 수 있게 해준다. 이러한 특성은 교사 1인 또는 학생 1인도 새로운 형태의 교육콘텐츠에 관한 ‘크리에이터’로서 교육적 자원의 생태계를 부유하게 하는데에도 일조할 것으로 전망된다.

3) 개발과정

(1) 텐저블 모델 교구의 디자인

중등 과학교육에서 배워야 하는 내용 중에서도 학생들이 이해하기에 어려움을 겪을 수 있는 과학 모델에는 화학에 관한 ‘원자 모델’과 ‘전자배치 모델’이 있다(김창곤, 2003; 노태희 외, 2001). 특히, 전자배치 모델의 경우, 원자 모델보다 직관적이지도 않을뿐더러 여러 가지 양자역학적 원리와 규칙에 근거하므로, 추상성이 높은 학습 내용이라 볼 수 있다. 과학과 교육과정에서도 전자배치 모델은 화합물의 구조, 결합, 주기율 특성 등 화학 학습의 전반에서 높은 수준의 중심성을 지니는 학습 내용으로 고려되는 편이다. 전자배치 모델은 ‘중심성’을 지닌, ‘추상적 사고’를 요구하는 과학 모델이라는 측면에서 본 개발의 목적에 부합하는 목표 학습 내용으로 추정된다. 따라서, 본 사례에서는 증강현실 기반 과학 시뮬레이션에서 ‘실제적 조작’에 관한 교육적 어포던스를 시사하는 중등 과학교

육의 전형적인 사례로 ‘전자배치 모델’의 학습에 주목하고자 하였다.

하지만 원자 모델 교구가 이미 널리 알려진 데 반해, 전자배치 모델 교구는 거의 알려지지 않은 편이었다. 이러한 사유로, 본 사례에서는 연구문제와 관련하여 ‘2015 개정 교육과정 화학1 교과서’를 참고하여 교육과정의 취지에 부합하는 ‘텐저블 형태’의 전자배치 모델 교구를 직접 제작하였다. 이러한 직관적 체험과 반복적 연습을 위한 모델 교구에 더하여, 학생의 조작 행위를 ‘개념’과 연결 짓도록 안내하기 위한 증강현실 기반 과학 시뮬레이션도 함께 개발하였다. 이들은 아래 <표 IV-5>에 제시된 바와 같이 특정 목표 개념에 대한 학습을 의도한 것이다. 이때 실제적 조작에 관한 디자인 요건에 부합하도록, ‘증강현실 기반 과학 시뮬레이션’을 통해 안내될 개념뿐만 아니라 ‘텐저블 모델 교구’를 통해 배울 수 있는 개념도 함께 고려하고자 하였으며, 이를 통해 모델 교구의 교육적 효용을 개선하고자 하였다. 또한, 모델 교구의 제작에 ‘자석’을 활용함으로써 텐저블 모델 교구로부터 학습 내용을 암묵적·연계적으로 제시하는 전략도 함께 구상하였다. 이러한 개발과정은 과학교사 1인(경력 10년)의 검토 및 수차례 수정·보완 과정과 함께 수행되었다.

<표 IV-5> 텐저블 모델 교구 및 과학 시뮬레이션에서 의도된 학습 개념들

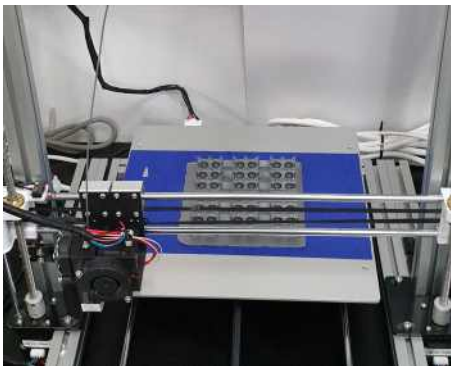
| 구분 | | 텐저블 모델 교구 | 증강현실 기반 과학 시뮬레이션 |
|------------------|----------------|------------------|---------------------|
| | | (직관적 체험, 반복 연습용) | (개념연결을 위한 정교한 학습안내) |
| 목 표 개 념 | 수소 원자의 전자배치 | △ | ○ |
| | 다전자 원자의 전자배치 | ○ | ○ |
| | 쌍음 원리 | × | ○ |
| | 파울리의 배타원리 | ○ | ○ |
| | 훈트의 규칙 | ○ | ○ |
| | 전자배치 표기법 | × | ○ |
| | 중성원자의 전자배치 | × | ○ |
| | 원자가 전자와 최외각 전자 | × | ○ |

한편, 제작과정에는 이창윤, 홍훈기(2018)의 ‘메이커교육’에 관한 연구에서 시도한 바와 같이, 3D프린터를 통해 교구를 출력하는 데 있어 본질적인 제약을 극

복하기 위해 모델 전체를 개별 ‘부품화’하여 조립형으로 구성하였다. 모델링 과정과 3D프린터를 활용한 출력과정에 관한 장면 예시는 아래 [그림 III-8]와 같다.



(a) Rhinoceros 5/Windows를 통한 모델링 결과물



(b) 3D프린터 활용 모델 출력 예시 1



(c) 3D프린터 활용 모델 출력 예시 2

[그림 IV-8] Rhinoceros 5/Windows와 3D프린터를 활용한 제작과정

(2) 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 디자인 및 개발

증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 디자인은 상기한 바와 같이 개발과정에서 고려해야 할 세 가지 측면, 즉 (1) 타당성, (2) 사용성, (3) 교육적 활용성을 충족하는 방향으로 수행하였다.

세부적으로, 타당성은 사전에 과학 교과에 특화된 과학 시뮬레이션의 요건을

설정함으로써 충족하고자 하였다. 실제 과학 시뮬레이션의 요건을 설정하는 과정에서는 전술한 내용처럼 인위적 표상, 자유도의 한정, 오개념 유발 방식을 모두 고려한 것이 아니라, 대신에, 이번 개발과정에서는 증강현실의 특성상, ‘자유도의 한정’과 ‘오개념 유발’의 제한점에만 주목하여 이들을 중점적으로 해소하는 방향으로 요건을 설정하였다. 자유도의 한정을 극복하기 위해, 학습자가 잘못된 조작을 할 경우를 대비하여 학습경로를 사전에 충분히 고려하였고, 이에 대한 학습 피드백 지원도 함께 구상하였다. 오개념 유발요소에 관한 것은 과학교육 박사과정을 수료한 연구자가 개발자로 참여함과 동시에 경력 10년의 과학교사 1인과의 협업 및 타당성 평가에 참여한 교사들의 추가적인 검토를 받음으로써 최소화하였다.

사용성은 이미 선행연구에서 알려진 디자인 원리로부터 디자인 가이드라인을 설정함으로써 충족하고자 하였다. 본 저자의 선행연구(이창윤 외, 2018)에서는 과학 시뮬레이션의 사용성을 높이기 위해 심리학적, 인지공학적, 교육학적 문헌과 연구사례들을 고려하여, 정서적, 인지적, 참여적 측면에서 과학 시뮬레이션의 디자인 가이드라인을 제안한 바 있다. 해당 연구에서는 정서적 측면에서 긍정적인 감성을 불러일으키기 위해, ‘시각적 조화’, ‘충분한 안내’, ‘사전에 예러 방지’, ‘신뢰할만한 정보를 제공’하는 방향으로 디자인을 할 것을 권고하였다. 인지적 측면에서 불필요한 인지 부하를 감소시키기 위해, ‘레이아웃’, ‘일관성’, ‘텍스트의 명료성’을 고려한 디자인을 할 것을 권고하였다. 참여적 측면에서 교사의 관점을 강조하면서, ‘정보제시 전략’, ‘학습자 수준 고려’ 등을 살필 것을 권고하였다. 선행연구에서 제시된 바와 같이 이번 개발 연구에서도 정서적, 인지적, 참여적 관점을 고려하여 개발을 수행하였다.

교육적 활용성은 교육적 맥락을 고려한 개발도구의 채택을 통해 충족하고자 하였다. 본 사례에서는 앞서 ‘개발도구’에서 제시한 바와 같이 유니티 프로그램을 이용하여 증강현실 기반 과학 시뮬레이션을 개발하였으며, 이 과정에서 ‘C# 프로그래밍 언어’와 ‘뷰포리아’에서 제공하는 에셋도 함께 활용하였다.

(3) 디자인 세미나

본 사례에서 개발한 텐저블 모델 교구와 증강현실 기반 과학 시뮬레이션은 과학 교육 전문가 1인, 과학교육 전공 대학원생 7인(박사과정 3인, 석사과정 4인), 현장 과학교사 1인이 참여하는 디자인 세미나에서 타당성을 논의하였다. 디자인 세미나에서는 주로 ‘실제적 조작’에 관한 개념의 적합성과 이를 지원하는 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 개발 타당성을 논의하였다.

4) 평가 도구

본 사례에서 개발한 텐저블 모델 교구와 증강현실 기반 과학 시뮬레이션은 현장 과학교사 6인을 대상으로 타당성 평가 및 면담을 시행함으로써 평가하고자 하였다(Grant & Davis, 1997). 이러한 평가 방법은 혼합연구방법(mixed methods)의 관점에 상응하는 것으로(Creswell & Plano Clark, 2017), 연구자의 이론적 민감성에 따라 개발된 산물의 타당성을 재고하기 위해, 이를 뒷받침(corroborate)할만한 경력 있는 과학교사들의 관점이 반영된 질적, 양적 평가데이터를 얻기 위해 도입한 것이다. 이때, 사용성 평가 대신에, 타당성 평가를 채택한 것은 본 사례에서의 제안된 디자인 특성이 플랫폼 차원(예, 컨테이너)에서의 특성이라기보다는 오히려 학습 내용을 전달하기 위한 교구의 구성방식(콘텐츠)에 관한 것이었기 때문이다(Ardito et al., 2006). 그로 인해, 본 평가 과정에서는 콘텐츠 측면에서 타당성을 다루고자 내용 전문가로서 과학교사 및 과학교육 전문가의 평가내용에 높은 비중을 두었던 것이며, 반면, 학생을 대상으로 하는 평가는 시행하지 않았던 것이다(Grant & Davis, 1997).

타당성 평가는 Grant & Davis(1997)가 제안한 형식에 따라 평가 설문지를 중심으로 시행하였으며, 평가 설문지는 본 사례에서 개발한 텐저블 모델 교구와 증강현실 기반 과학 시뮬레이션이 ‘중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠’로서 적합한지를 적합성, 가시성, 유용성, 보편성, 이해도 측면에서 묻는 4단계 리커트 척도 문항을 중

심으로 <표 IV-6>과 같이 수정하여 사용하였다(나일주, 정현미, 2001; 이창윤 외, 2015). 그 밖에도, 평가 설문지에는 개발된 과학 시뮬레이션에 관하여 구성상 부족한 면에 대해 조언해줄 수 있는 서술형 문항을 함께 포함하였다(박태정, 2015).

한편, 타당성 평가 설문지에서 실제적 조작에 관한 디자인 특성을 직접 묻지 않았던 것은 디자인 세미나를 통한 논의의 결과, 실제적 조작이라는 용어의 필요성과 정당성이 인정되는 것에 반해, 그것을 과학교사가 직관적으로 인식하기에는 어려움이 있을 것이라는 결론에 도달했기 때문이다. 대신에, 실제적 조작에 관한 용어의 정당성을 부여하는 질문으로서, ‘중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠’라는 질문을 중심으로 이번 과학 시뮬레이션을 평가한 다음, 이후 서술형 문항 및 면담 과정에서 교사가 제기하는 의견을 통해 사후에 실제적 조작의 가능성을 확인해보고자 하였다.

<표 IV-6> 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 설문지

| 유형 | 내용 |
|------------------|---|
| 4단계 리커트 척도 | 적합성 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션(모델 교구 포함)은 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로 적합하다. |
| | 가시성 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션(모델 교구 포함)은 중등 과학교육에서 다루는 내용을 (학생들에게) 시각적으로 제대로 전달될 수 있다. |
| | 유용성 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션(모델 교구 포함)은 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로, 교육 현장에서 유용하게 이용될 수 있다. |
| | 보편성 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션(모델 교구 포함)은 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로, 교육 현장에서 보편적으로 이용될 수 있다. |
| | 이해도 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션(모델 교구 포함)은 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로 활용하는 데 있어, (교사가) 이해할 만하다. |
| 서술형 | 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션(모델 교구 포함)의 장점(또는 예상되는 기대효과)은 무엇입니까? |
| | 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션(모델 교구 포함)의 단점(또는 걱정, 우려 등)은 무엇입니까? |
| | 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션(모델 교구 포함)에서 개선하거나 보완해야 할 점은 무엇입니까? |

한편, 타당성 평가에 참여한 교사는 아래 <표 IV-7>과 같이, 모두 10년 이상의 교직경력(2019년 기준)과 ICT 기반 교수학습을 운영해본 경험이 있었다. 평가에 참여한 과학교사 6인은 본 과학 시뮬레이션을 체험한 이후에 타당성 평가지를 작성하였으며, 이후, 응답 내용과 관련하여 추가적인 면담에도 참여하였다.

<표 IV-7> 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 참여교사

| 참여교사 코드 | 전공 분야 | 최종학력 | 소속 직책 | 교사경력 | ICT 기반 교수학습 경험 |
|---------|-------|------|---------|------|----------------|
| A 교사 | 화학교육 | 석사 | 고등학교 교사 | 16 | 있음 |
| B 교사 | 화학교육 | 석사 | 고등학교 교사 | 11 | 있음 |
| C 교사 | 화학교육 | 석사 | 고등학교 교사 | 23 | 있음 |
| D 교사 | 화학교육 | 석사 | 고등학교 교사 | 23 | 있음 |
| E 교사 | 화학교육 | 학사 | 고등학교 교사 | 10 | 있음 |
| F 교사 | 화학교육 | 석사 | 고등학교 교사 | 14 | 있음 |

(위 참여교사 코드의 순서는 면담 내용에 관한 논의를 고려하여 임의 배열한 것임.)

5) 분석 방법

자료의 분석은 타당성 평가에서 참여교사가 응답한 설문지 내용을 중심으로 실시하였다. ‘4단계 리커트 척도’ 문항에 관해서는 3점과 4점을 긍정적 응답으로, 1점과 2점을 부정적 응답으로 코딩한 다음, Rubio et al.(2003)이 제안한 내용 타당도 지수(CVI)와 평정자 간 일치도(IRA) 지수를 중심으로 평가 응답 내용을 분석하였다. 이후, 서술형 문항의 응답과 면담 내용에 한해서는 의미 단위를 탐색적으로 살펴보기 위해 내용을 ‘범주화’한 다음, 연구자의 이론적 민감성에 근거한 ‘에틱(etic)’의 방식에서 ‘실제적 조작’의 정의와 연관 지어 살펴보았다(조용환, 1999; Creswell, 2012; Creswell & Plano Clark, 2017; Strauss & Corbin, 1998). 분석결과를 도출한 범주로부터 자료를 반복적으로 재검토하는 ‘지속적 비교방법’을 통해 정교화하였고, 참여자검토를 통해 재확인하였다(Lincoln & Guba, 1985; Strauss & Corbin, 1998; Yin, 2009).

다. 개발 및 평가 결과

1) 텐저블 모델 교구 개발 결과

‘전자배치’에 관한 텐저블 모델 교구로서 3D프린팅 모델을 제작한 결과, 조립 가능한(부품화 한) 형태의 부품에 대한 출력물의 예시는 [그림 IV-9]과 같다.



[그림 IV-9] 전자배치에 관한 텐저블 모델 교구의 조립 전 부품 예시

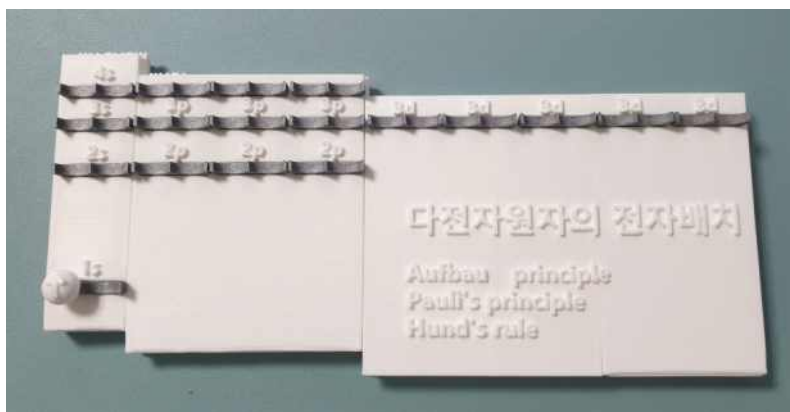
이들을 모두 조립하면 [그림 IV-10]과 같은 형태로 완성된다. 이는 화학1 교과서에 제시된 ‘다전자 원자’의 전자배치 모델(2차원 표상)을 텐저블 형태의 모델 교구(3차원 모델)로 구현한 것으로, 과학교육 전문가 1인, 과학교육 전공 대학원생 7인(박사과정 3인, 석사과정 4인), 현장 과학교사 1인이 참여한 디자인 세미나에서 검토를 받은 것이다.



[그림 IV-10] 전자배치에 관한 텐저블 모델 교구의 완성된 모습

본 전자배치 모델 교구는 ‘자석’을 통해 작동하며, 파울리의 배타원리와 이를 넘어서는 양자역학적 원리에 대한 학습 내용을 암묵적으로 포함하고 있다. 자석은 전자를 붙게 만드는 힘을 제공함과 동시에, 파울리의 배타원리에 상응하는 배치를 따르게 만든다. 하지만, 이처럼 자석의 힘으로 작동하는 본 모델 교구는 쌍음 원리와 훈트의 규칙, 전자배치의 표기에 대해서는 충분한 설명을 포함하지 않는다. 오히려, 이들에 대한 학습에 대해서는 아래 증강현실 기반 과학 시뮬레이션에서 다루기 때문이다.

한편, 이 모델 교구는 수소 원자의 전자배치를 설명할 때에도 아래 [그림 IV-11]과 같이 변형하여 활용할 수 있다. 비록 가능하더라도, 이처럼 변형된 활용은 오비탈 간의 반발에 관한 ‘오개념’을 유발할 가능성이 있어 본 사례에서는 권고하지 않는다. 이러한 변형을 통해 수소 원자의 전자배치를 설명하려면, 교사의 충분한 설명이 수반되어야 할 것이다.



[그림 IV-11] 전자배치에 관한 텐저블 모델 교구의 변형된 활용
(수소 원자 전자배치 설명을 위해)

2) 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 디자인 결과

‘전자배치’ 모델에 관한 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 개발 결과, 윈도우, 안드로이드 스마트폰, IOS 스마트폰에 호환이 가능한 모바일 앱의 형태로 개발하였다. 이는 텐저블 모델 교구와 함께, 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션을 구

성하는 시뮬레이션 형태의 학습 시스템이라 말할 수 있다. 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션(텐저블 모델 교구와 증강현실 기반 과학 시뮬레이션)의 작동 장면 예시는 아래 [그림 IV-12]에서 제시된 바와 같다.



[그림 IV-12] 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션의 구동 장면 예시

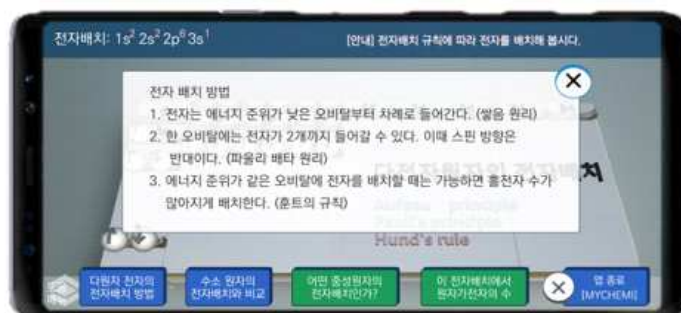
이와 관련하여, 본 증강현실 기반 과학 시뮬레이션은 암묵적, 연계적 학습안내를 위해 아래 [그림 IV-13]과 같이 3가지 측면에서의 기능을 갖추고 있다 : ① 학습자의 수행을 안내/피드백하는 안내판, ② 실시간으로 학습자가 조작하는 것에 상응하여 전자배치 표기법을 알려주는 안내판, ③ 개념연결을 지원하는 도움 메뉴 부분.



[그림 IV-13] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 기능 설명

아래에서는 최종 완성된 증강현실 기반 과학 시뮬레이션으로부터 ‘개념연결’을 지원하는 도움 메뉴의 기능에 대해 상세히 설명하였다. 첫 번째 메뉴는 ‘다원자 전자의 전자배치 방법’에 관한 것으로, 국가수준 과학과 교육과정을 따르는 화학

I 교과서에 실린 ‘전자배치 방법’의 내용을 포함하고 있다(그림 IV-14). 이 메뉴를 통해 학생들은 전자배치에 관한 원리와 규칙을 다시 확인할 수 있다.



[그림 IV-14] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 첫 번째 메뉴 실행 예시

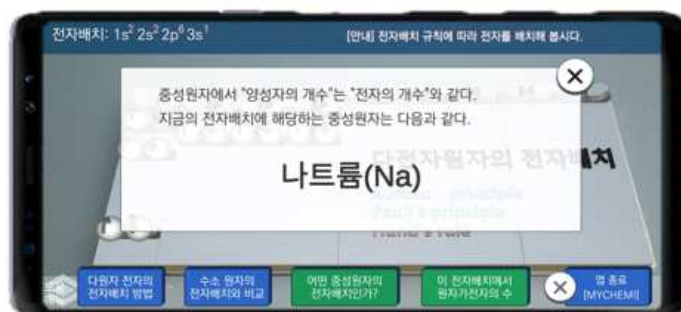
두 번째 메뉴는 ‘수소 원자의 전자배치와 비교’에 관한 것으로, 국가 수준 과학 교육과정을 따르는 화학 I 교과서에 실린 두 전자배치 도표(수정·보완)를 포함하고 있다(그림 IV-15). 이 메뉴를 통해 학생들은 수소 원자의 전자배치와 다전자 원자의 전자배치 사이에 나타나는 주된 특성을 비교해볼 수 있다.



[그림 IV-15] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 두 번째 메뉴 실행 예시

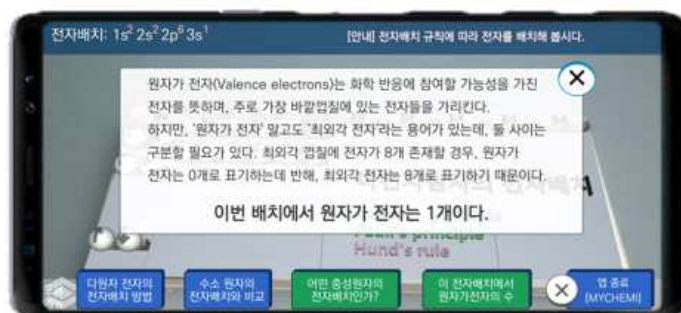
세 번째 메뉴는 ‘어떤 중성원자의 전자배치에 해당하는지’를 이해하는 데 도움을 주는 메뉴로, 학생들이 배치한 전자배치에 대하여, 그에 상응하는 중성원자를 ‘자동으로’ 찾아준다(그림 IV-16). 이 메뉴를 통해 학생들은 그들의 전자배치가 어떤 중성원자에 해당하는지를 연관 지을 수 있게 되고, 나아가 주기율 특성 및

화학 결합에 관한 특성과도 관련지어 이해할 수 있다.



[그림 IV-16] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 세 번째 메뉴 실행 예시

네 번째 메뉴는 ‘이 전자배치에서 원자가전자의 수’를 이해하는 데 도움을 주는 메뉴로, 학생들이 배치한 전자배치에 대하여 그에 상응하는 원자가전자의 수를 ‘자동으로’ 계산해준다(그림 IV-17). 한편, 여기에는 학생들이 혼동하기 쉬운 개념인 ‘최외각 전자’에 대한 내용도 포함하고 있으며, 이를 통해 화학1 교과서에서 제시하는 유사한 개념에 대한 이해도 함께 돕고자 하였다. 이 메뉴를 통해 학생들은 그들의 전자배치에 대한 원자가전자의 수를 확인할 수 있으며, 동시에 최외각 전자에 대한 개념도 함께 배울 수 있다.



[그림 IV-17] 증강현실 기반 과학 시뮬레이션의 네 번째 메뉴 실행 예시

이처럼 개발된 증강현실 기반 과학 시뮬레이션은 중등 과학을 위한 교육콘텐츠로, ‘과학 교과에 특화된’ 디자인 특성을 보여준다. 아래 타당성 평가의 결과

와 함께 고찰했을 때, 여기에는 ‘실제적 조작’에 관한 새로운 교육적 어포던스를 제기할 만한 요소도 충분히 포함된 것으로 판단된다.

3) 타당성 평가 결과

(1) 평가 설문지 응답 결과

본 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션의 개발 결과는 ICT 교수학습에 대한 경향이 있는 과학교사 6인의 타당성 평가를 받았다. 평가에 참여한 전문가들은 본 과학 시뮬레이션이 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로 적합한지를 묻는 설문 문항에서 긍정적인 응답을 하였다(표 IV-8). 이때 타당성 평가 결과는 4점 척도에서 평균 3.93으로 매우 높게 나타났다. 타당성 평가 응답에서 1, 2점을 ‘부정적 응답’으로 분류하고, 3, 4점을 ‘긍정적 응답’으로 분류했을 때 내용 타당도 지수인 CVI와 평정자 간 일치도인 IRA도 모두 1.0으로 매우 높게 나타났다(Rubio et al., 2003).

〈표 IV-8〉 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션에 관한 타당성 평가 결과

| | 적합성 | 가시성 | 유용성 | 보편성 | 이해도 |
|------|------|------|------|------|------|
| 평균 | 3.83 | 4.00 | 4.00 | 3.83 | 4.00 |
| 표준편차 | 0.41 | 0.00 | 0.00 | 0.41 | 0.00 |

서술형 문항에 대한 응답을 분석한 결과, 본 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션의 장점을 묻는 문항의 응답에서 교사들은 학생의 “조작 활동”으로 인한 “흥미 유발”, “참여도 증가”, “암기의 감소”에 대한 기대감이 나타났다. 더불어, “증강현실”로 인해, “학생들이 (교사의 도움 없이) 직접 가장 안전한 전자배치를 해 볼 수 있는 것”과 “수업 시간에 배운 내용을 이해했는지를 스스로 점검할 수 있는 것”에 대한 기대감을 드러내는 응답도 있었다.

본 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션의 단점 및 보완점을 묻는 문항에서는 “스마트기기의 사용에 관한 불편함”과 “기존 과학 모델이 갖는 한계로서 오개념

유발 가능성”에 관한 응답이 제기되었다. 또한, 본 과학 시뮬레이션의 “자유도 수준”에 대한 상반된 견해가 제기되기도 하였는데, 참여교사 2인은 오비탈의 에너지 준위와 관련하여 좀 더 높은 자유도가 제공되기를 원하고 있었으며, 참여교사 1인은 텐저블 모델 교구를 통한 학습에서는 자유도가 높아 “자유도 수준”의 제한을 요청하기도 하였다.

(2) 면담 결과

면담은 주로 타당성 평가에서 응답 이유를 묻기 위해 개별적으로 수행된 것이지만, 분석과정에서 ‘실제적 조작’에 관한 교육적 어포던스로 여겨지는 디자인 특성에 관한 공감대가 발견되었다. 세부적으로, 앞서 제기한 실제적 조작을 유발하는 디자인 특성에는 모델 교구의 효용 확장, 상호작용적 콘텐츠 특성 강화, 학습 내용의 암묵적 연계적 제시가 있었는데, 이를 지지하는 단서가 참여교사를 대상으로 시행된 개별 면담에서 공통적으로 드러난 것이다.

첫째, 모델 교구의 효용 확장을 지지하는 단서는 모델 교구의 증가된 효용을 긍정적으로 평가하는 참여교사의 응답에서 발견되었다. 면담 과정에서 모든 참여교사는 “자석”의 특성으로부터 “조작 경험”을 지원하는 모델 교구의 장점을 공통적으로 제기하였다. 이와 관련된 견해로서, A교사의 경우, “교구 중에서 전자스핀이 같은 방향이 되지 않도록 자석으로 만든 것이 독특하다”고 느꼈고, 이를 통해 학생들은 심화된 학습에서 “전자스핀이 자성과 관련되어 나타나는 현상임을 스스로 깨닫고, 관련 개념을 습득할 수 있을 것 같다”고 응답하였다. B교사의 경우, “과학 법칙, 규칙, 원리가 함께 고려된 모델 교구”라고 평가하였으며, 또한, 학생들이 “보이지 않는 현상을 직접 (조작해) 구현해보는 계기를 마련할 수 있을 것”이라 응답하였다. C교사의 경우, “자석으로 파울리 배타원리 등을 학습할 수 있도록 구현한 것”으로부터 모델 교구의 교육적 효용을 보고하였고, “모델 교구에서는 다양한 시도는 할 수 있지만, 정답은 확인할 수 없는 반면, 증강현실에서는 답을 확인할 수 있어” 모델 교구는 증강현실 기반 과학 시뮬레이션

선과 서로 상보적 역할을 하는 교구임을 생각하고 있었다. 다른 참여교사들도 “자석”의 특성으로부터 모델 교구의 장점을 보고하였다. 여기서 물론 ‘자석’을 포함함으로써 나타나는 이점이 모델 교구의 교육적 효용 증가와 직접적인 관련성을 나타내는 것은 아니겠지만, 참여교사가 보고한 응답은 모델 교구가 증강현실을 불러오는 역할을 넘어서 하나의 교육적 자원으로 자리 잡게 되었음을 암시한다. 즉, 이러한 참여교사의 응답은 본 개발사례에서 실제적 조작성에 관한 교육적 어포던스의 가능성을 시사하는 것이다.

둘째, 상호작용적 콘텐츠 특성 강화를 지지하는 단서는 본 사례에서 개발한 과학 시뮬레이션으로부터 실시간 피드백을 제공하거나 학생들의 이해수준을 점검하는 평가 도구로서의 가능성을 제기하는 참여교사의 응답에서 발견되었다. 이와 관련된 견해로서, A교사의 경우, 기존의 학교 교육평가 체계는 “학생이 틀린 답을 하더라도 그 답이 틀렸다는 것을 알려주지 않는” 것에 반해, 본 과학 시뮬레이션은 “학생들의 이해를 점검하고, 평가와 관련하여 즉각적인 피드백을 제공할 수 있을 것”으로 기대한다고 응답하였다. B교사의 경우, “보통은 학생들이 자신이 틀린 답을 했다는 것에 대해 한참 후에 알게 되는데, 이것은 학생들이 실시간으로 올바르게 답을 했는지를 알게 해주니까 유용할 것”같다고 응답하였다. 이와 상응하는 견해로서, C교사, D교사, E교사도 평가지를 통해 “즉각적 피드백”의 이점이 있는 것 같다고 보고하였다. 참여교사의 응답은 이번 개발사례에서는 기존 증강현실 기반 콘텐츠에서 약하게 반영되었던 상호작용적 콘텐츠 특성이 강화되었음을 시사한다.

셋째, 학습 내용의 암묵적·연계적 제시 가능성의 포함을 지지하는 단서는 본 사례에서 개발한 과학 시뮬레이션으로부터 교육과정을 넘어서는 “원자번호 21번 원소 이후의 전자배치에 관한 학습 내용”도 자연스럽게 포함되어 있어 학생들이 무기화학을 비롯한 후속 학습 내용에 대해 “익숙함을 느낄 것” 같다고 제기한 일부 참여교사의 응답에서 발견되었다. 이와 관련된 견해로서, B교사의 경우, “추상적인 화학 내용, 입자, 관련 법칙에 관한 이해를 구체화된 맥락에서 함께”

배워나가게 할 수 있을 것 같다고 응답하였다. C교사의 경우, “(많은 학생들이) 어렵고 지루해하는 내용임에도 흥미롭게 도입”할 수 있을 것 같다고 응답하였다. 한편, 참여교사들은 자신들의 관점에서 다양한 발전 가능성을 예상하면서, “전자 배치 모델”을 통해 “보어 모델”, “현대 오비탈 이론 모델”로의 확장 가능성을 제 각기 드러내기도 하였다.

그 밖에도, 참여교사들은 이번 과학 시뮬레이션의 평가에 참여하면서, 이러한 형식의 교육콘텐츠에 대해 공통적으로 “새롭다”거나 “신기하다”고 평가하였다. 지금까지 참여교사들은 과학교육에서 이용할 수 있는 텐저블 형태의 모델 교구로서 “분자 모델 교구”만 알고 있었으며, 확장된 형태의 과학교육용 모델 교구에 대해서는 필요성을 느끼고 있었다. 그러나, 모든 참여교사는 공통적으로 “알려진 과학교육용 모델 교구가 드문 편”이었기 때문에, “도입조차 고려할 수 없었다”고 응답하였다. 그러면서도 이러한 모델 교구와 증강현실 시스템이 “아이들(학생들)에게 큰 도움이 될 것”이라는 견해를 공통적으로 밝혀왔다.

라. 실제적 조작에 대한 디자인 요건

전술한 개발 결과와 더불어, 매우 긍정적으로 나타난 평가 결과는 증강현실의 ‘모델 타겟’ 기술과 ‘3D프린팅 모델 교구’를 도입함으로써 개발된 과학 시뮬레이션에 대해 실제적 조작(과학개념 및 과학 모델 학습을 위한 개선된 조작 경험으로서)에 관한 교육적 어포던스를 갖게 하는 것으로 상정할만한 단서로 간주된다. 이에 따르면, 본 사례에서 개발된 과학 시뮬레이션은 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션이라 말할 수 있는 것이다.

이와 관련하여, 본 사례에서는 다른 학습 내용에 관한 과학 시뮬레이션의 개발에서도 실제적 조작에 관한 교육적 어포던스를 갖게 하는 디자인 요건을 시사하고자 하였다. 이를 위해, 연구자는 이론적 민감성 및 개발 경험에 기반하여 이러한 교육적 어포던스와 관련될 수 있는 디자인 특성을 비교·검토함으로써, 또한

과학교사 1인(경력 10년)과 반복적으로 논의함으로써 용어의 정의에 부합하면서 동시에 전이가능성(transferability)을 제기할만한 범주를 중심으로 디자인 요건을 추렸다. 이후, 디자인 세미나를 통해 보완함으로써, 실제적 조작에 관한 과학 시뮬레이션의 디자인 요건은 아래 <표 IV-9>와 같이 도출하였다.

<표 IV-9> 실제적 조작의 교육적 어포던스를 위한 디자인 요건

| 고려사항 (영역) | 기존 한계점 | 디자인 방향 | 실제적 조작의 교육적 어포던스 요건 |
|--------------------------|---|-----------------------|--|
| 교구의 역할 (인식마크) | 기존 증강현실 콘텐츠는 2차원 시각적 인식 마커에 의존하였기 때문에, 모델 교구(또는 표상)의 역할이 증강현실을 불러오기 위한 단순한 '인터페이스'로 한정될 수밖에 없었다. (관련 사례 : Chen et al., 2016) | 모델 교구의 효용 확장 | 인터페이스의 역할로 한정되었던 교구(또는 표상)는 '가짜'로부터 '진짜' 학습 내용을 불러오는 역할이 아닌, 증강현실과 상보적으로 학습 도움을 제공하는 방향으로 구성이 되어야 한다. (개발 전략 : 증강현실의 모델 타겟 기능 도입, 3D프린팅 모델, 자석의 활용) |
| 표상 속성 (증강현실) | 기존 증강현실 기반 콘텐츠 그 자체는 종종 2차원 시각적 이미지의 표상을 3차원 그래픽이나 애니메이션의 형태로 일방향적으로 제시하는 데 그칠 수 있다. (관련 사례 : Chen et al., 2011) | 상호작용적 콘텐츠 특성 강화 | 학습자의 다양한 형태의 '조작'에 '상호작용적'으로 반응함으로써 그에 상응하는 학습 정보나 학습 관련 피드백을 '실시간'으로 제공하는 형태로 구성되어야 할 것이다. (개발 전략 : 과학 시뮬레이션의 형태로 개발) |
| 학생 수준 고려 방식 (과학교육) | 과학과 교육과정에서는 학습자의 수준을 고려하기 위해 학습 내용을 추가/제거 또는 이 동하였는데, 이 때문에 학생들의 과학개념에 대한 단편적, 암기식 이해를 유발하였다. (관련 연구 : 김창곤, 2003) | 학습 내용의 암묵적·연계적 제시 가능성 | 학습자의 수준에 넘어서는 내용에 대해서는 옵션으로 제시하거나 암묵적·연계적으로 제시함으로써 학생들의 체험을 유도해야 한다. (개발 전략 : 관련 전문가의 관점을 반영) |

본 실제적 조작에 관한 디자인 요건에서는 종래의 과학교육용 콘텐츠의 한계점이자 향후 개발에서 고려해야 할 디자인 기준으로 (1) 교구의 역할, (2) 표상 속성, (3) 학생 수준 고려 방식 측면을 선정하였고, 상기한 세 가지 고려사항을 반영하기 위한 디자인 방향으로서, (1) 모델 교구의 효용 확장, (2) 상호작용적 콘텐츠 특성 강화, (3) 학습 내용의 암묵적·연계적 제시 가능성을 강조하였다. 따라서, 실제적 조작에 관한 디자인 요건에 충족하려면, 과학 시뮬레이션의 개발과정에서 다음의 세 가지 측면을 중요하게 고려해야 할 것이다.

첫째, 텐저블 모델 교구 자체도 증강현실 학습 시스템을 제어하기 위한 '인터페이스'의 역할 뿐만 아니라, 독립적인 학습자원으로서 역할을 할 수 있어야 할

것이다(계보경, 김영수, 2008). 즉, 여기에서 텐저블 모델 교구는 다른 학습 정보를 불러오기 위한 스위치가 아닌, 그 자체만으로도 과학교육에 특화된 효용성을 지닌 학습 도구가 되어야 한다는 점이다. 이를 반영하기 위해 본 사례에서는 개발 전략으로서 증강현실의 모델 타겟 기능을 도입하였고, 동시에 3D프린팅 모델과 자석을 활용한 것이다.

둘째, 증강현실을 일방적으로 제시되는 표상을 확장하기 위한 도구가 아닌, 현실세계의 객체와 밀접하게 연관된 상황에서 학습자의 조작에 ‘상호작용적’으로 반응하고, 그에 상응하는 학습 정보나 학습 피드백을 ‘실시간’으로 제공하는 형태로 구성되어야 할 것이다(Chen et al., 2016). 이를 반영하기 위해 본 사례에서는 개발 전략으로서, 이창운 외(2018)의 연구에서 제시된 것과 같이, 과학 시뮬레이션의 형태로 개발한 것이다.

셋째, 학습자의 수준을 넘어서는 내용에 대해서도 포함하되, 증강현실을 통해 암묵적·연계적으로 제시하여 학생들이 과학과 교육과정에 제시된 분절된 지식 또는 이를 넘어서는 복잡한 지식이라 하더라도 자연스럽게 이해할 수 있게 유도하는 방향으로 구성되어야 할 것이다. 이를 반영하기 위해, 본 사례에서는 개발 전략으로서 과학교사와 과학교육 전문가, 과학교육 전공 대학원생과의 논의 과정을 포함한 것이다.

한편, 실제적 조작에 관한 디자인 요건은 과학 시뮬레이션의 개발에서 3D프린팅 모델 교구와 증강현실의 모델 타겟 기술을 동시에 도입하였을 때 기대되는 교육적 이점을 조화롭게 수용하는 것으로, 초기에 설정한 실제적 조작 용어에 정당성을 부여하는 디자인 방향과도 일치하는 것이다. 사실상, 실제적 조작이라는 용어는 텐저블 모델 교구와 그것의 조작 행위로부터 개념을 연관 짓도록 돕는 증강현실 기반 학습 시스템(시뮬레이션)을 전략적으로 이음으로써 과학 모델 학습을 위한 더 나은 조작 경험을 제공하기 위해 정의된 용어이기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 이와 관련된 디자인 요건을 제안하는 것이 각 구성요소를 기계적으로 더함으로써 이들의 이점을 알게 고려하는 것을 방지하기 위해, 그리고 더 나은 디자인 통

찰을 제공하기 위한 것임을 밝히고자 한다.

세부적으로, 실제적 조작을 위한 디자인 요건으로 ‘모델 교구의 효용 확장’을 강조하는 것은 증강현실의 모델 타겟 기능의 이점을 취하기 위함이다. 증강현실의 모델 타겟 기능은 별도의 인식마커가 없더라도 ‘3차원 모델링 정보’만 사전에 주어진다면, 그것을 대상으로 증강현실을 불러올 수 있다. 여기서 ‘3차원 모델링 정보’는 3D프린터를 통해 모델 교구를 출력될 수 있는 데에도 사용되는 정보를 가리킨다. 따라서, 모델 타겟 기능은 증강현실과 3D프린팅 모델 교구를 매개하는 기술로 활용될 수 있는 것이다. 이러한 측면은 기존의 모델 교구의 다양화와 더불어, 실제적 조작을 위한 ‘맥락적 개념연결 매개자’로서 모델 교구 자체의 새로운 교육적 효용을 증대시킬 수 있을 것으로 기대하였다.

실제적 조작을 위한 디자인 요건으로 ‘상호작용적 콘텐츠 특성 강화’를 강조하는 것은 종래의 과학 시뮬레이션의 이점을 상속받기 위함이다. 특히, 손으로 조작하는 활동을 풍부하게 제공하고 그에 상응하는 학습 내용을 안내하려면, 증강현실 기반 교육콘텐츠는 과학 시뮬레이션의 형태로 개발되는 것이 타당할 것으로 보았다. 선행연구(Chen et al., 2016)에 따르면, 증강현실을 통한 학습에서 학생들의 체험에 대한 질적 수준을 높이는 데 있어서, 시뮬레이션과 같은 ‘상호작용적 특성’이 이점으로 작용하기 때문이다. 실제적 조작을 위한 ‘맥락적 개념연결 매개자’로서 모델 교구의 학습 효과를 높이려면, 기존 과학 시뮬레이션의 상호작용적 특성이 필요할 것으로 보았다.

실제적 조작을 위한 디자인 요건으로 ‘학습 내용의 암묵적·연계적 제시 가능성’을 강조하였던 것은 우리나라 중등 과학교육의 요구에 상응하기 위함이었다. 본 사례에서 초기에 제기한 과학 시뮬레이션의 개발 목적에 부합하려면, 학생들의 수준을 고려하는 방식에 변화가 필요할 것으로 보았다. 이는 본 개발사례의 목적이자, 동시에 초기에 실제적 조작이라는 용어를 정의한 이유이기도 하다. 이들이 우리나라 중등 과학교육의 요구로서 실제적 조작에 관한 과학 시뮬레이션의 디자인 특성이라 할 수 있는지는 개발사례의 의의와 함께 논문의 후반부에서 다시 논의할 것이다.

V. 논의 및 결론

1. 논의의 대상

본 논문에서는 우리나라 중등 과학교육의 요구로서 ‘관찰 경험’과 ‘조작 경험’을 위한 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 발굴하고자 하였으며, 과학 시뮬레이션의 개발사례를 사례연구방법을 통해 접근함으로써 이와 관련된 현상(개발 및 평가 결과)과 정황적 단서(개발 및 평가 과정)를 드러내고자 하였다. 이와 관련하여, 사례연구의 분석단위를 과학 시뮬레이션의 개발을 위해 ‘제안된 디자인’으로 두고, 관찰 경험과 조작 경험을 지원하는 두 과학 시뮬레이션의 개발에 대한 (1) 디자인 제안, (2) 개발 및 평가 방법, (3) 개발 및 평가 결과를 살펴보았다. 이를 통해, 각 의도된 디자인으로부터 교육적 어포던스를 상정하고, 이와 관련된 디자인 요건을 도출함으로써 연구의 목적을 달성하고자 한 것이다.

하지만, 본 논문에서는 프래그머티즘의 가치관과 태도를 수용함으로써 연구의 방향을 과학 시뮬레이션의 디자인 특성에 관하여 가설적 제안에서부터 추론적 가설까지 도달하는 데 두었기 때문에, 여전히 개발사례에서 드러난 과학 시뮬레이션의 디자인 특성과 그것으로부터 도출된 디자인 요건을 확증하기엔 이르다. 그럼에도 불구하고, 각 개발사례의 결과들은 우리나라 중등 과학교육의 문제에 직접 다가가고자 노력한 탐구행위의 산물로서 높은 가치를 부여할 수 있을 것이다. 근본적으로, 본 논문에서는 우리나라 교육 학계에서 지금까지 통상 기계적인 논리로부터 강한 확증을 도출할 것을 추구해왔음에도 불구하고 정작 우리의 교육 문제를 스스로 해결하지 못했던 것을 비판적으로 여기고, 그 대신에, 비록 이처럼 약한 확증이라 하더라도 그것을 통해 우리의 교육 문제에 직접 다가갈 수 있기를 추구했기 때문이다.

교육 연구는 ‘사람’이 ‘사람’에 의해, ‘사람’을 위해, ‘사람’에 관해 탐구하는 행위이므로, 적어도 교육연구자가 추구해야 하는 것이 기계적인 논리는 아니라고 말할 수

있다. 오히려, 교육 연구에서는 지식의 발생과 종점은 모두 ‘사람’에게 있기 때문에, 여기서 중요한 것은 사람들의 ‘공감대’를 만들 수 있는 ‘생각의 창출’과 ‘실천적 논리’라 할 수 있다. 이때, 실천적 논리는 가설적 추론으로부터 ‘유용할 것만 같은 것들’ 또는 ‘매력적인 그럴듯함’을 생성하는 귀추적 논리라 할 수 있을 것이다. 이러한 주장에 관해 정당성을 말할 수 있는 이유는 교육 연구에서 지식을 생성하는 주체도, 활용하는 주체도 모두 외형적·내형적 신체의 기능, 두뇌의 구조, 그리고 심지어 느끼는 욕구조차 비슷한 사람에게 있기 때문이다. 그러나, 이때 누군가는 이러한 교육 연구의 방향성에 공감하더라도, 여전히 연구의 산물로서 도출된 지식에 대해 일단 공감대만 형성되면 타당한 것이라 말할 수 있는지를 반문할 것이다. 그와 관련된 인식론적 질문은 앞서 본문에서 ‘연구의 논리’로서 다루었던 프래그머티즘의 사상에 관한 서술에서 답을 얻을 수 있을 것이라 여기고, 여기에서는 귀추적 논리와 같이 약한 확증에 근거하여 도출된 지식에 어떻게 가치를 부여할 수 있는 것인지만 언급하고자 한다.

프래그머티즘에 따르면, 지식은 사람들이 느끼고 인식하는 ‘공감’과 ‘발전 가능성’에 의해 채택되는 생존경쟁을 통해 진화론적으로 발전하므로, 지식의 가치는 처음부터 결정된 것이 아니라 오히려 사람들이 인식하는 유용성에 관한 공감대로부터 매겨지는 것이라 말할 수 있다. 이러한 관점에서는 추론적 가설이라 하더라도 유용성이 예상된다면, 그것을 충분히 생존경쟁의 시험대에는 올려볼 수 있는 것이다. 마찬가지로, 이러한 관점에서 교육연구자는 자신의 ‘관찰’로부터 ‘귀추적으로’ 유도된 ‘약한 확증’의 결론이라 하더라도, 그것의 유용성을 현장 교사들이 공감할 수 있다면, 그것에 얼마든지 가치를 부여해 볼 수 있는 것이다. 물론, 모든 추론적 가설이 매번 유용한 지식으로 자리를 잡을 수 있는 것은 아니지만, 본 논문에서 ‘보배로이’ 다루고자 하는 것은 과학사에서 그러했듯이, 그러한 후보들이 큰 변화를 일으킬 잠재력이 있기 때문이다.

이러한 관점을 고려하여, 본 논문에서는 우리나라 중등 과학교육의 문제에 직접 다가가기 위해 혼합연구방법의 논리와 귀추적 논리를 차용하였으며, 또한 개

발 및 평가 과정에서 교사의 관점을 중요하게 반영하고자 하였다. 이로써 우리나라 중등 과학교육의 요구로서 과학 시뮬레이션의 새로운 디자인 특성을 시론적으로 제안하였던 것이다. 따라서, 각 개발사례에서 중요하게 보아야 할 것은 (1) ‘과학 시뮬레이션 개발의 의의’와 (2) ‘과학 시뮬레이션의 디자인 요건에 관한 제안’ 그 자체라고 말할 수 있다. 아래에서는 그와 관련된 논의 내용을 다루고자 하였다.

2. 과학 시뮬레이션 개발의 의의

가. 실제적 관찰 중심 과학 시뮬레이션의 개발 의의

최근 교육부는 2015 개정 교육과정을 통해 과학탐구실험을 새롭게 도입함으로써 학생들에게 실험실 경험을 제공해주고자 노력하고 있다(신소연 외, 2018). 하지만, 우리나라 과학교사들은 학생들에게 다양한 실험 경험을 제공하게 하는데 있어 다양한 이유로 종종 부담을 느끼는 것으로 알려져 있다(김명희, 김영신, 2012). 예컨대, 불을 사용하거나 위험한 시약을 다루는 실험은 안전사고의 발생이 우려되어 교사의 실험실 수업 운영에 부담을 줄 수 있다(강명희 외, 2011). 또한, 교사의 실험 수업 운영은 탐구내용에 따라 매번 다른 실험기자재가 요구되기 때문에 학교의 예산, 행사, 실험실 환경, 지원인력 등 외적 요인에 의해 제약을 느낄 수 있다(김명희, 김영신, 2012; 박현주, 2013). 따라서, 과학교사가 주어진 상황에서 탐구실험의 교수학습을 적절하게 선택할 수 있도록 하는 대안적 옵션(back-up plan)이 충분히 확보될 필요가 있었다.

한편, 과학 탐구실험을 다른 교수학습으로 대체하고자 할 때, 교사와 교육콘텐츠 개발자가 중요하게 고려해야 할 것 중 하나는 학생들의 관찰 경험을 질적·양적으로 충분하게 지원해줄 수 있는지다. 이는 사실상 직접 관찰을 체험하는 것이 학생들이 과학의 본성으로서 과학자의 실제 수행에서 관찰 행위가 갖는 의미와 가치를 이해하고, 과학 지식을 받아들이는 데 지대한 영향을 주기 때문이다

(Norris, 1985; Trundle & Bell, 2010). 그러므로, 만약 과학 시뮬레이션을 통해 탐구실험을 대체하고자 하더라도, 교사는 그것이 학생이 관찰을 경험할 기회도 질적·양적으로 충분하게 제공하는지를 사전에 고려해야 할 것이다. 또한, 교육콘텐츠 개발자는 그와 관련된 용례를 염두에 두고, 과학 시뮬레이션을 개발할 때 관찰 경험을 지원하는 디자인 특성을 고려해야 할 것이다.

과학 시뮬레이션이 실험 활동을 대체하는 용도로 활용될 수 있음을 제안하는 선행연구는 많은 편이었던 반면, 디자인 측면에서 관찰 경험을 어떻게 지원할지에 대해 명시적으로 다룬 과학 시뮬레이션 연구는 드문 편이었다. 이미 알려진 과학 시뮬레이션 중 탐구실험을 위해 개발된 과학 시뮬레이션이 이미 존재하더라도, 그것은 기호학적 관점에서 봤을 때 주로 애니메이션 중심의 단순화된 모델로 구성되어 있어, 과학 탐구실험에서 학생들에게 사실적인 관찰 경험을 제공하기에 부족한 것이었다.

이에, 본 개발사례에서는 과학 시뮬레이션의 관찰 경험을 지원하는 디자인 특성으로 사실적인 표상의 도입을 주장하였고, 마스크 기능을 통해 과학 시뮬레이션에 동영상 클립을 삽입함으로써 실제적인 실험결과를 제시하는 과학 시뮬레이션을 개발하였다. 따라서, 본 개발사례는 우리나라 중등 과학교육의 요구를 반영하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 시사하였다는 점에서 의의를 생각해볼 수 있는 것이다.

나. 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션의 개발 의의

중등 과학교육에서 일어나는 학습자 중심 수업은 강의식 수업에 비해 학생들의 학업성취와 과학에 대한 태도를 유의하게 개선한다(정영란, 이정민, 2010). 이처럼 학습자 중심 수업이 중등 과학교육에서 효과를 보이는 것은 학생들에게 ‘참여 경험’을 충분히 제공해주기 때문으로 설명할 수 있다(de Jong, 2019). 비록 중등 과학교육에서 좋은 수업의 형태가 학습자 중심 수업이라 하더라도, 사

실상, 이러한 수업을 지원하기 위해 도입할 수 있는 학습 도구는 한정된 편이었다. 게다가, 탐구활동이 아닌 추상적인 과학 모델 및 개념에 관한 학습상황에서 학습자 중심 수업을 이끌기 위해 가용할 수 있는 학습 도구의 경우, 더욱 드문 편이었다.

이러한 맥락에서 학생들에게 과학 학습에서 조작과 함께 모델을 이해하도록 돕는 교육콘텐츠로서 증강현실 콘텐츠가 제안될 수 있을 것이다. 그러나, 종래의 교육 연구에서 다루어 온 이전 세대의 증강현실 기술은 다음의 두 가지 측면으로 인해, 그것을 교육적으로 활용하는 것이 제한되고 있었다. (1) 이전 세대 기술은 사전에 정의된 QR코드나 2차원 이미지를 중심으로 사물을 인식하면서 작동하거나, 정확도가 높지 않은 GPS 센서(실외측위 오차 약 5m)를 통해 약 5m 반경을 단위로 사용자의 위치 맥락을 인식해야만 했다(김현욱, 2011). (2) 게다가, 이전 세대의 증강현실 기술은 3차원 객체의 인식을 통해 작동하더라도 3차원 객체를 2차원 이미지의 복합체로서 받아들이는 한계를 넘지 못했기 때문에, 이를 통해 개발된 증강현실 콘텐츠는 불필요하게 인지 부하를 유발하는 이미지 마커를 포함해야만 했다.

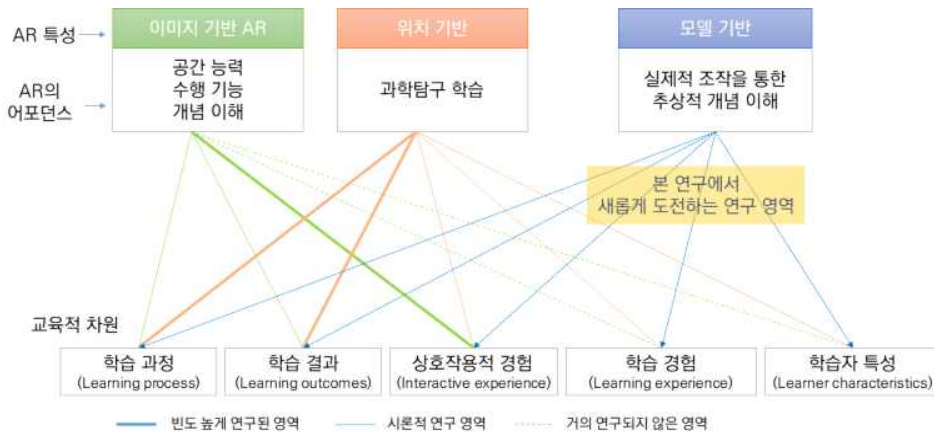
그에 반해, 최근 증강현실 기술은 이전 세대의 것과는 달리 맥락 인식의 정교성이 더욱 높아졌으며, 3차원 객체도 2차원 이미지의 복합체가 아닌, 그 자체의 인식을 통해 사물을 얼마든지 자유롭게 인식하고 작동할 수 있게 되었다. 특히, 스마트폰 관련 반도체를 생산하는 회사인 퀄컴의 자회사, 뷰포리아(vuforia)에서는 3차원 물체를 이미지 패턴 없이 오직 형태만으로도 직접 인식할 수 있는 모델 타겟(model-target) 기술을 공개하였으며, 마찬가지로 미래산업의 중심에 있는 구글에서도 이와 유사한 'AR-core' 기술을 내놓기 시작했다. 이처럼 최근에는 기술의 발전으로부터 증강현실의 활용 가능성이 더욱 확장되는 추세지만, 그러나, 종래의 교육 연구에서는 이러한 새로운 기술적 이점으로부터 어떠한 특화된 교육적 활용도 충분히 보여주지 못하고 있었다.

이에, 이번 개발사례는 3D프린팅 기반 '텐저블 모델 교구'와 증강현실의 '모

모델 타겟 기술'이 '중등 과학교육'을 위한 교육콘텐츠로서 '실제적 조작'을 지원하는 과학 시뮬레이션의 개발에 도입될 수 있음을 시사하고자 한 것이다. 세부적으로, 텐저블 모델 교구로는 교육적 환경에서도 교사나 학생이 손쉽게 개별화(customizing)할 수 있는 3D프린팅 모델 교구를 활용하고자 하였고, 구체적인 외형은 연구자가 직접 디자인하여 제작하였다. 조작 행위와 학습 개념을 연결 짓도록 돕는 학습 시스템은 연구자가 증강현실 기술을 통해 과학 시뮬레이션의 형태로 개발하였고, 이때 현실세계의 텐저블 모델 교구와 가상의 학습 내용을 유연하게 연결하기 위해 모델 타겟 기술을 함께 활용하였다. 그 결과로서, 3D프린팅 기반 텐저블 모델 교구가 증강현실을 구현하는 데 있어 현실세계와 가상세계 사이에 다리를 놓는 접점으로 작용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 모델 타겟 기술은 기존 증강현실 콘텐츠에서 무의미한 정보를 운반하는 이미지 패턴으로 구성된 시각적 마커를 대체하는 기술이 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

덧붙이자면, 본 개발사례에서는 모델 타겟 기술이 2차원 시각적 이미지(또는 2차원 이미지의 연속체)가 아닌 3차원 객체를 직접 인식하여 가상의 정보를 제공하는 증강현실의 작동 방식에 관한 기술로서, 기존 방식에서는 단순히 증강현실의 작동을 위해 하나의 '인터페이스'의 역할로만 한정될 수밖에 없었던 물리적 교구 자체의 교육적 효용을 증대시키는 기술이 될 수 있음을 보여준다. 이는 실제적 조작 중심 과학 시뮬레이션의 개발에서 모델 타겟 방식으로 도입되는 증강현실 기술에 대해 새로운 교육적 어포던스의 가능성을 제기할만한 것으로서 여겨진다. 그 밖에도, 본 과학 시뮬레이션의 개발물은 Cheng & Tsai(2013)을 통해 보고된 바 있는 '과학교육에서 증강현실 연구의 주제들' 틀에서 새로운 지평을 여는 단서가 될 것으로 전망된다(그림 V-1).

따라서, 본 개발사례는 중등 과학교육에서 과학개념과 모델의 이해를 돕는 학습환경을 구성하는 데 있어서, '조작 경험'을 지원하기 위해, 증강현실 기술과 3D프린터 기술의 교육적 활용 가치를 확장하는 사례로서도 의의가 있는 것이다.



[그림 V-1] 과학교육에서 증강현실(AR) 관련 연구주제의 확장된 시각 모델

3. 과학 시뮬레이션의 디자인 요건에 관한 제안

과학 시뮬레이션은 학생들이 자신의 ‘손’을 통해 어떤 것을 조작해봄으로써 학습하는 경험을 제공할 수 있다. 게다가, 과학 시뮬레이션은 학습 내용을 실시간·상호작용적으로 제공하기 때문에, 교실 내에서 학습 내용을 비동시적으로 이해하는 학생들에게 도움이 되며, 동시에 모든 학생을 대상으로 학습을 안내해야 하는 교사에게도 수업 부담을 조금이나마 덜어줄 수 있다. 하지만, 이미 알려진 교육적 효용에도 불구하고, 교육 현장에서 과학 시뮬레이션의 도입은 더딘 편이었고, 동시에 이와 관련된 개발 연구도 침체기에 접어들었다. 마찬가지로, 과학 시뮬레이션의 개발에 활용할 수 있는 ‘과학 교과에 특화된’ 디자인 요소를 탐색하는 연구도, 그리고 ‘증강현실’ 기술로부터 과학 시뮬레이션의 새로운 교육적 어포던스를 발굴하려는 논의도 최근에는 드문 편이었다.

이에, 본 논문에서는 과학 시뮬레이션에 관하여, 증강현실 기술의 도입을 포함하는 개발사례를 통해 우리나라 중등 과학교육에 특화된 디자인 특성 및 이와 관련된 교육적 활용 가능성을 탐색하는 데 주력하고자 한 것이다. 이때, 연구의 방향은 단순히 일반화할 수 있는 명시적인 명제의 도출보다는, 프래그머티즘의 가치

관에 따라 ‘바텀-업’의 방식으로 ‘진화적 발전’을 도모하기 위한 노력으로, ‘관찰 경험’과 ‘조작 경험’을 지원하는 과학 시뮬레이션의 개발을 위한 디자인 요건을 시사하는 데 두었다. 이와 관련하여, 본 논문에서는 우리나라 중등 과학교육의 맥락에서 실제적인 교수학습을 실행하기 위해 요구되는 과학 시뮬레이션의 교육적 어포던스로서 ‘실제적 관찰’과 ‘실제적 조작’이라는 용어를 정의하였다.

(1) 실제적 관찰은 과학 시뮬레이션이 학생들에게 인위적 표상(단순화된 모델)을 통한 잘못된 관찰 경험을 제공하는 것을 방지하기 위해, 그리고, 실제에 가까운 표상(실제 동영상)을 통해 좀 더 사실적인 탐구 경험을 제공해야 함을 강조하기 위해, 그와 관련하여 의도된 디자인으로부터 유발되는 교육적 어포던스를 지칭하고자 도입한 용어이다. 이로써, 교사가 교육 환경의 제약으로 인해 탐구실험을 과학 시뮬레이션으로 대체하고자 할 때, 관찰에 관한 실제적인 학습경험을 제공하기 위해 과학 시뮬레이션이 갖추어야 하는 디자인 요건을 제기하고자 한 것이다. (2) 실제적 조작은 과학과 교육과정의 개정방식으로 인해 분절적으로 제시되는 과학 개념 및 과학 모델에 학생들이 암기식으로 학습하는 것을 방지하기 위해, 그리고, 학생들이 양자역학적 원리를 기저에 두는 과학 모델이라 하더라도, 조작 경험과 함께 체계적으로·연계적으로 학습할 기회를 제공하기 위해, 그와 관련하여 의도된 디자인으로부터 유발되는 교육적 어포던스를 지칭하기 위해 도입한 용어이다. 이로써, 교사가 학생들에게 과학 모델의 이해를 돕기 위해 과학 시뮬레이션을 도입하고자 할 때, 충분한 조작 경험을 제공하기 위해 과학 시뮬레이션이 갖추어야 하는 디자인 요건을 제기하고자 한 것이다.

상기한 두 용어의 속성으로부터 발견되는 공통점은 ‘실제적’이라는 표현이 기존 중등과학용 교육콘텐츠의 어떠한 ‘한계’를 극복하는 방안이 되는 것을 의미하는 수식어로 해석될 수 있다는 점과 그로 인해 ‘대안적’이라는 표현으로 치환할 수 있다는 점이다. 세 부적으로, 실제적 관찰은 ‘표상’의 제약을, 실제적 조작은 ‘학습자 수준에 따라 단편적으로 제공되는 과학 학습 내용’의 제약을 극복하기 위해 제안된 용어라 말할 수 있기 때문이다. 물론, 두 용어가 이러한 의도까지 담아내기에 타당한지 여

부는 개발과정과 개발 결과를 살펴본 ‘독자’만이 추론을 통해 판단해볼 수 있을 것이다. 본 논문에서 직접 두 용어에 대해 타당성을 검증하지 않는 것은 본 논문의 연구 방향이 ‘참’과 ‘거짓’으로 판별 가능한 어떤 명제를 도출하는 데 있었다기보다는, ‘나아짐’과 ‘더 나아짐’ 사이에서 나름의 신빙성을 제공하는 최선의 방안을 그려내는 데 있었기 때문이다. 이러한 연구의 관점에서 두 용어는 단지 어떤 일련의 특성을 한 번에 떠오르게 해주는 ‘이름표’에 지나지 않는 것이다. 그렇다고 하더라도, 두 용어가 가리키는 디자인 특성에 대한 논의의 필요성은 여전히 유효하였기에, 앞서 두 개발사례를 통해 우리나라 중등 과학교육의 요구를 반영하는 시뮬레이션의 디자인 특성은 무엇인지, 이와 관련하여, 개발자가 고려해야 할 디자인 요건은 무엇인지, 그리고, 그것이 타당하다고 말할 수 있는지에 대해 살펴보았던 것이다.

이와 관련하여, 두 개발사례의 결과는 개발 및 평가내용을 중심으로 다음과 같이 정리해볼 수 있다. (1) 실제적 관찰에 관한 과학 시뮬레이션은 중학교 과학 2 ‘양금생성반응’에 관한 것으로, ‘플래시-ActionScript 3.0’을 통해 운영체제에 상관없이 대부분 스마트기기에서 동작하는 ‘모바일 앱’의 형태로 개발되었다. (2) 실제적 조작에 관한 과학 시뮬레이션은 고등학교 화학 I ‘전자배치’ 모델에 관한 것으로, 3D프린팅 기술과 증강현실 기술을 통해 각각 ‘텐저블 모델 교구’와 ‘모바일 앱’의 형태로 구현하였다. 각 사례에서는 이후, 개발된 과학 시뮬레이션에 대해 제각기 현장 과학교사를 포함하는 집단으로부터 타당성 평가를 시행하였다. 그 결과로서, 두 과학 시뮬레이션이 평가에 참여한 과학교사에 의해 모두 ‘긍정적’으로 평가됨으로 인해, 제각기 ‘실제적 관찰’을 지원하는 시뮬레이션 교구로, ‘중등 과학교육’을 위한 교육콘텐츠로서 타당할 수 있음이 확인되었다. 또한, 면담에서 후자의 과학 시뮬레이션이 실제적 조작에 관한 교육적 어포던스와 연관성이 있음을 제기할만한 단서들도 포착되었다.

전술한 평가 결과를 귀추적 논리로 바라보게 되면, 본 논문에서 제안한 과학 시뮬레이션의 디자인 특성은 우리나라 중등 과학교육의 요구를 반영하는 디자인

특성이라 말할 수 있다. 세부적으로, 실제적 관찰을 지원하는 과학 시뮬레이션은 학생들에게 좀 더 사실적인 관찰 경험을 제공하는 교육콘텐츠로서 우리나라 중등 과학교육에서 탐구활동을 대신하는 대안적 옵션이 될 수 있는 것이다. 실제적 조작을 지원하는 과학 시뮬레이션은 학생들에게 과학적 지식을 연계적·암묵적으로 배울 수 있는 조작 경험을 제공하는 교육콘텐츠로서, 우리나라 중등 과학교육에서 과학적 개념이나 모델의 이해를 돕는 학습 도구가 될 수 있는 것이다. 결국, 두 과학 시뮬레이션에 대해 제기된 과학교사들의 긍정적 평가내용은 과학 시뮬레이션이 우리나라 교육계에서 새로운 공감대를 불러일으키는 잠정적 소재로서, 그리고 중등 과학교육의 진흥을 이끄는 교육적 도구로서 발전 가능성이 있음을 시사하는 것이라 볼 수 있다. 하지만, 상기한 해석은 본 논문에서 새롭게 제안했던 디자인 특성 및 이를 반영한 개발물의 평가 결과로부터 귀추적으로 도출된 것이므로, 그와 관련된 결론은 약한 확증(weak confirmation)에 근거하는 것이라 할 수 있다(김무길, 2010). 따라서, 우리나라 중등 과학교육의 맥락에서 본 과학 시뮬레이션이 유용성을 지닌다는 사실을 정교한 방식으로 확증하려면, 후속연구가 필요하다. 후속연구에 관한 내용은 이어서 ‘제언’에서 다룰 것이다.

4. 연구의 결론

첫 번째 개발사례에서는 중학교 과학2 교과서에 제시된 탐구활동 내용으로서 ‘양금생성반응 실험’에 관한 과학 시뮬레이션의 개발 및 평가를 통해, 탐구실험에서 강조되어야 할 요소로서 관찰 경험을 유발하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 논의하였다. 세부적으로, 개발과정에서 (1) 마스크 기능을 통해 실험결과에 관한 동영상 클립을 도입하고 기존 과학 시뮬레이션의 이점으로 알려진 (2) 상호작용적 정보 제시방식과 (3) 단순화된 모델 표현방식을 일부 승계함으로써, 학생들에게 더 나은 관찰 경험을 제공할 수 있는 과학 시뮬레이션의 디자인 요건을 시사하였다.

두 번째 개발사례에서는 2015 개정 교육과정 고등학교 화학I 교과서에 제시된 학습 내용으로서 ‘전자배치 모델’에 관한 과학 시뮬레이션의 개발 및 평가를 통해, 중등 과학교육의 맥락에서 과학개념 및 과학 모델에 관한 학습을 돕기 위해 요구되는 요소로서 조작 경험을 유발하는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 논의하였다. 세부적으로, 개발과정에서 (1) 3D프린팅 기반 텐저블 모델 교구 및 (2) 모델 타겟 방식의 증강현실 기술을 도입함으로써, 이들로부터 학생들에게 더 나은 조작 경험을 제공하기 위한 디자인 요건을 시사하였다.

이로써 본 논문에서는 학습자에게 더 나은 관찰과 조작의 경험을 제공하는 과학 시뮬레이션의 디자인 요건을 도출하여 ‘실제적 관찰’과 ‘실제적 조작’에 관한 교육적 어포던스를 갖는 과학 시뮬레이션의 디자인 특성을 상정하였다. 하지만, 이러한 디자인 특성에 관한 제안은 비록 일종의 추론적 가설로서 약한 확증을 근거로 하므로 아직 확정하기엔 이른 것이다. 그럼에도 불구하고, 이러한 제안은 프래그머티즘에 기반한 사례연구의 산출물로서 후속 과학 시뮬레이션의 개발에서 관찰 경험과 조작 경험을 위해 반영해볼 만한 디자인 및 개발 방법에 관한 통찰을 제공한다는 점에서 의의를 찾아볼 수 있다. 더욱이, 우리나라 중등 과학교육의 문제에 직접 접근함으로써 이를 해결하기 위해 모색한 새로운 처방이라는 점에서 의미가 있다.

끝으로, 본 논문에서는 교사와 학생이 참여적 디자인의 디자이너로서 참여하거나, 또는 ‘1인 크리에이터’로서 이들이 ‘바텀-업’의 방식으로 교육콘텐츠 생태계의 조성 및 발전에 함께 참여할 수 있음을 전망하였고, 이에, 그들을 위한 사례가 될 수 있도록, 개발 경험 및 실천적 논리를 자세하게 기술하였던 것임을 밝힌다.

5. 연구의 한계점

본 논문에서의 ‘연구의 한계점’은 다음의 세 가지 측면에서 말할 수 있다.

첫째, 본 논문은 ‘이론적 민감성’이라 불리는 연구 주체의 경험과 믿음에 의존

하는 연구물이므로, 이와 관련하여 도출된 연구의 산출물들은 단지 본 연구자의 지평 한도 내에서 최선인 것이었다. 이론적 민감성이란 질적 연구방법 중 하나인 근거 이론(grounded theory)의 체계를 구축한 Strauss & Corbin (1998)이 소개한 용어로, 사회과학 연구에서 연구의 도구를 연구자 자체라 가정할 때, 결국 타당한 연구 결과로 이끄는 도구가 연구자의 학술적, 경험적 지평 그 자체임을 강조하는 용어라 말할 수 있다. 비록 이러한 연구의 한계점이 본 논문에만 한정되는 것은 아니지만, 이를 밝히는 이유는 본 논문의 연구가 새로운 대안을 모색하는 탐색적 연구이기 때문이다. 그렇다고 해서, 본 논문에서의 연구방법이 전통적인 연구에서처럼 합리적·합의된 방법을 따르지 않았던 것은 아니다. 무엇보다도, 연구의 초점이 지식 주장이 아닌, 후속 연구의 지평 확장에 도움이 될 것으로 여겨지는 현상과 정황적 단서를 드러내는 데 있었기 때문에, 종래의 연구 전통과는 차이가 있을 수 있음을 말하고자 하는 것이다. 이러한 연구의 관점에서 도출된 결과의 타당성은 결국 연구 주체(주 연구자) 이외의 연구 참여자들이 제공한 평가내용과 지금 이 논문을 읽고 있는 독자의 ‘공감’ 여부로부터 획득될 수 있을 것이다. 본 논문 연구의 타당성에 관한 논의를 후대까지 열어두는 이유는 본 논문이 이와 관련된 학문영역에서 지식의 진화론적 발전을 위한 통찰을 제공하는 데 의의를 두기 때문이다.

둘째, 전통적인 연구의 관점에서 보면, 본 논문의 연구 과정에서는 부분적으로 편향(bias)이 발생했을 가능성이 있었다. 이러한 우려를 사전에 고려하여, 본 논문에서는 관련 경험을 지닌 과학교사나 전문가들로부터 ‘상호주관적’ 견해를 빌려옴으로써 연구 과정에서 발생할 수 있는 편향을 최소화하고자 노력하였다고 말할 수 있을 것이다. 구체적으로, ‘디자인 세미나’와 더불어, ‘타당성 평가’, ‘평가자 간 일치도 평정’을 통해 연구 과정에서의 편향을 최소화하고자 한 것이다.

셋째, 본 논문에서는 과학 시뮬레이션의 개발에 주목한 연구임에도 ‘학생’을 대상으로 ‘교육적 효과’에 관한 구인을 검증하는 데에는 크게 주목하지 않았다. 이미 본 연구자의 ‘석사학위’ 연구에서 동종의 과학 시뮬레이션들을 ‘우리나라 중학

교 학생'들을 대상으로 투입해본 바가 있어, 그 결과로서 '과학 시뮬레이션을 적용한 반에서 학생들이 인지적, 정서적 측면에서 유의하게 향상될 수 있음'을 확인했기 때문이다(이창윤, 2015). 그 밖에도, 본 논문의 과학 시뮬레이션과 동종이라 볼 수 있는 과학 시뮬레이션에 대해, 교육적으로 효과적임을 지지하는 선행 연구들이 이미 존재하기 때문이다(Plass et al., 2012; Quintana et al., 2009; Rutten et al., 2012; Smetana & Bell, 2012; Van Joolingen, et al., 2007). 따라서, 본 논문의 영역 안에서는 과학 시뮬레이션에 관하여, 선행연구들과 같은 의미를 내포하는 명제를 반복적으로 생산하는 데 초점을 두기보다는, 디자인 특성에 관한 새로운 통찰을 제공하기 위해 개발 경험의 제시에 더 높은 비중을 두고자 한 것이다.

6. 후속연구에 관한 제언

최근 정보화 기술의 발달로 인한 '4차 산업혁명' 이후의 사회를 전망하는 보고서들에는 인간의 직업과 삶의 변화를 암시하는 내용을 중요하게 다루고 있다(김세움, 2017). 그에 반해, 우리나라 교육계는 여전히 지필 시험 중심의 평가 체계를 고수하고 있으며, '암기'를 넘어 미래사회의 직업과 연결될 수 있는 '체험'의 기회는 학년이 증가할수록 학생들에게 부족하게 제공되고 있다. 세계경제포럼이 2016년에 발표한 보고서에 따르면, 미래사회에서는 단편적인 지식의 암기가 더는 중요하지 않으며, 향후 세계 경제를 주도할 기업들도 그러한 역량을 원하지 않는다고 한다(WEF, 2016). 공교육의 목적 중 하나가 국가 경쟁력의 제고라 한다면, 교육계는 변화하는 사회의 요구를 적극적으로 수용해야 할 것이다(교육부, 2017).

우리나라 '교육과정'에서는 수차례 개정을 통해 시대의 흐름에 부합하도록 공교육이 추구해야 할 방향을 제시해왔다(교육부, 2015a). 여기서 공교육이 추구해야 할 '교육 목표', '성취기준', '교육 내용', '교수학습 방식', '평가 방안'에 대

한 방향은 구체적으로 제시해왔으나, 그것을 실현하는 새로운 ‘학습자원’에 대한 안내는 다소 모호한 편이었다(교육부, 2017). 이처럼 교육과정의 내용에서 드러나는 상반된 명료성과 추상성은 교사가 ‘학습자원’을 보수적으로 채택하게 할 것으로 예상된다. 대안적으로, 국가 수준 교육과정이 공교육의 발전을 위해 새로운 학습자원을 지향하도록 명문화하려면, 그 전에 교육적 효과를 입증할 수 있는 학습자원의 종류가 다양화될 필요가 있다. 하지만, 여전히 교육과정에서는 시대의 흐름에 부합하는 새로운 학습자원의 방향은 제시하지 않은 채, 주된 학습자원으로서 오직 ‘종이로 된 교과서’를 암묵적으로 권고하고 있다. 게다가, ‘디지털 교과서’를 비롯한 테크놀로지 기반 학습자원의 도입은 더디게 진행하고 있다. 우리나라는 국가 경쟁력을 높이기 위해 선진국 계열 국가들보다 ‘인재 양성’에 더욱 집중해야 하는 배경을 가지고 있으나, 지금 우리나라의 공교육의 수준은 우리나라를 4차 산업혁명의 후발주자로 만들고 있는 듯하다. 2000년대 초반 이후, 미국을 비롯한 국제 사회를 이끄는 선진국들에서 기술 관련 산업이 수백 배 성장하는 동안, 우리나라 교육에서는 마치 과거제도처럼 여겨지는 ‘대학입시’와 그것을 위한 ‘공정성’에만 몰두했던 것은 아닌지에 대한 재고가 필요한 시점이다.

미국에서 스티브 잡스가 ‘새로운 역량’으로 사람들의 예술적 감성을 자극하여 과학기술계 문화에 혁신을 일으킨 이후, 그리고, 마크 주커버그가 세상에 SNS의 새로운 물결을 일으킨 이후, 우리나라에서도 그들의 모범사례로부터 국가 경쟁력을 쌓기 위해, 새로운 학습자원을 사용하는 ‘SMART 교육’, ‘STEAM 교육’ 등 미래지향적인 교육체계의 도입을 고려한 바 있었다. 하지만, 이러한 교육체계는 세상이 또 다른 대변화를 시도하는 지금의 시점에서도 여전히 공교육의 주류는 되지 못했다. 결국, 지금까지 교육계는 변화의 주체는 누구인지, 무엇을 통해, 어떤 방향으로 나아가야 하는지에 대한 합의 없이, 반복되는 논의 속에 쳇바퀴 형태의 진보만을 거듭해온 것이다.

이처럼 새로운 학습자원을 도입하는 미래지향적 교육체계가 여전히 공교육의 형태로 정착하지 못한 데에는 여러 가지 이유가 있을 것이다. 그 이유 중 하나

는 오래전부터 교육계에서 주목해 온 ‘열린 교육’과 ‘블렌디드 러닝’이 확산에 실패했던 것에 반해, 그것과 유사한 교수학습의 형태인 ‘플립러닝’이 성공적으로 전파될 수 있었던 사례에서 찾아볼 수 있을 것이다. 사실상, 플립러닝은 공중파에서 방영된 이래로 현장교사들의 ‘공감대’를 중심으로 퍼지기 시작하였는데, 국가나 공공기관의 주도가 아닌, 현장교사들이 자발적으로 교수학습 사례를 전파하는 ‘바텀-업’ 방식이었다는 점이 특이점으로 알려졌다(이창운 외, 2019b). 여기에서 중요한 것은 플립러닝에는 교사가 ‘매력’을 느낄만한 학습방식 및 학습도구가 포함되어 있었다는 점이다. 플립러닝의 사례는 교사가 느끼는 ‘매력’이 ‘공감대’로 발전하게 된다면, 교육계의 변화에도 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 즉, 교사들이 긍정적으로 인식하는 교육 자원은 언제나 교육계의 진보를 이끄는 동력이 될 수 있는 것이다. 하지만, 현재 교육계에는 미래지향적 교육으로 나아가는 데 있어서 ‘공감대’를 수렴시킬 수 있는 교육적 소재는 드문 편이다. 곧 ‘초인공지능’이 도래할 것만 같은 급변하는 시대 속에서 우리나라 교육계는 누구나 ‘공감대’를 형성할 수 있는, 그리고 미래 교육의 ‘나침반’이 될 수 있는 교육체계를 수립할 필요가 있다. 이와 관련하여, 본 연구는 개발사례의 생성을 통해 새로운 교육체계로 채택될만한 ‘학습자원’의 다양화에 기여하는 연구라 말할 수 있을 것이다.

본 연구자는 연구 과정에 참여한 교사들의 ‘공감대’로부터 ‘과학 시뮬레이션’이 향후 우리나라 교육계 및 ‘중등 과학교육’의 진흥을 이끄는 교육적 소재로 나아갈 수 있는 발전 가능성을 확인하였다. 그러나, 과학 시뮬레이션이 우리나라의 미래지향적 교육체계에서 주된 학습자원으로 자리를 확고히 잡으려면, 현재 교육 실천의 주체인 ‘교사’와 향후 교육 실천의 주체인 ‘학생’ 모두의 ‘공감대’를 이끌 수 있는 ‘디자인 특성’에 관한 지속적인 후속연구의 필요성이 제기된다.

후속연구에 대한 제언은 다음과 같다. 첫째, 전문가, 현장교사, 학생의 관점을 반영할 수 있는 ‘참여적 디자인’에 기반하여, 좀 더 현장 친화적인 과학 시뮬레이션의 개발사례가 시도될 필요가 있다. 둘째, 학생이 과학 시뮬레이션의 ‘개발

자’ 또는 ‘디자이너’로서 참여하였을 때, 그들의 ‘과학적 오개념 생성’, ‘컴퓨팅 역량’, ‘테크놀로지 리터러시’ 측면을 동시에 주목하는 연구가 시도될 필요가 있다. 셋째, 이번 연구에서 드러난 과학 시뮬레이션의 ‘교육적 어포던스’를 확장할 만한 증거를 수집하기 위해, 학교 단위로 학생 참여자를 모집하여 ‘질적 연구방법’과 ‘양적 연구방법’에 기반을 둔 연구가 제각기 시도될 필요가 있다. 넷째, ‘과학의 본성’, ‘탐구 기능’, ‘핵심역량’을 중심으로, ‘과학 교과에 특화된’ 새로운 디자인 특성 또는 또 다른 교육적 어포던스의 탐색이 시도될 필요가 있다. 다섯째, 이번 연구에서는 ‘모델 타겟’의 기술적 한계로 인하여 높은 수준의 자유도와 편의성을 갖춘 인터페이스를 도입하는 데에는 한계가 있었지만, 후속연구에서는 증강현실 기술의 발전에 따라 최신 기술을 도입하여 이번 사례에서 제공된 과학 시뮬레이션을 좀 더 학습자-친화적인 방향으로 개발해 볼 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 강명희, 김혜선, 이정민 (2011). 웹 기반 과학실험 시뮬레이션의 학습성과에 대한 학습몰입과 인지적 실재감의 예측력 규명. 교육정보미디어연구, 17(1), 39-61.
- 강인애, 최정임, 장경원 (2006). 구성주의 연구에 대한 회고와 전망: 국내, 외 연구동향 비교. 교육공학연구, 22(4), 105-136.
- 계보경, 김영수 (2008). 증강현실 기반 학습에서 매체특성, 현존감, 학습몰입, 학습효과의 관계 규명. 교육공학연구, 24(4), 193-224.
- 고영남, 김종우 (2012). 증강현실 조합형 마커시스템의 교육효과분석. 정보교육학회논문지, 16(3), 373-382.
- 곽영순 (2018). TIMSS 2015 에서 과학 성취도와 흥미에 영향을 주는 교육맥락 변인 분석. 한국과학교육학회지, 38(2), 113-122.
- 교육부 (2015a). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 9].
- 교육부 (2015b). 초·중등학교 교육과정 총론. 교육부 고시 제2015-80호 [별책 1].
- 교육부 (2017). 2015 개정 교육과정 총론 해설 고등학교.
- 김경현 (2009). 초등학교 과학수업에서 AR 콘텐츠 활용이 학습 활동에 미치는 효과. 컴퓨터교육학회논문지, 12(5), 75-85.
- 김동식 (2002). 프래그머티즘. 서울: 아카넷.
- 김동희, 강성배, 문태수 (2015). 교류기억체계와 전문지식통합이 프로젝트팀 성과에 미치는 영향. 인터넷전자상거래연구, 15(4), 205-222.
- 김명희, 김영신 (2012). 초, 중등학교 과학 실험실 및 교수 환경에 대한 과학 교사들의 선호와 실제. 한국과학교육학회지, 32(10), 1567-1579.
- 김무길 (2010). 퍼스의 실재론적 프래그머티즘과 탐구 논리. 교육철학, 48, 1-22.
- 김민성 (2009). 학습상황에서 정서의 존재. 아시아교육연구, 10(1), 73-98.
- 김용진, 손정우, 송영욱 (2010). 시각에서 상 맺힘 경로에 대한 생물 전공 교사의 오개념 분석. 생물교육, 38(2), 331-341.

- 김용훈 (2010). 이공계 기피현상 분석을 통한 과학기술자의 사회적 위치 재구조화 정책 방안 연구. 인적자원관리연구, 17(2), 183-202.
- 김정수 (2018). 증강현실 기반 과학과 STEAM 프로그램의 적용이 특수교사의 과학과 수업에 미치는 영향. 학습자중심교과교육연구, 18(14), 803-825.
- 김정수, 이태수 (2018). 증강현실 기반 과학과 STEAM 프로그램이 지적장애 학생의 과학과 학습 동기 및 학습 몰입도에 미치는 효과. 학습자중심교과교육연구, 18(12), 199-218.
- 김지현, 조해리, 조영환, 정대홍 (2018). 과학담화에서 과학자와 중학생의 제스처 비교: 분자운동과 물질의 상태변화를 중심으로. 한국과학교육학회지, 38(2), 273-291.
- 김창곤 (2003). 원자모형과 전자배치 단원에 대한 고등학교 학생들의 학업성취도 및 화학 II 교과서의 설명방식의 차이점에 대한 분석. 대한화학회지, 47(3), 273-282.
- 김혜나 (2018). 증강현실기반 교육 연구 동향: 국내 연구에 대한 체계적 문헌고찰을 통하여. 정보교육학회논문지, 22(3), 397-407.
- 나일주, 정현미 (2001). 웹기반 가상교육 프로그램 설계를 위한 활동모형 개발. 교육공학연구, 17(2), 27-52.
- 노태희, 강석진, 주영, 고숙영, 김용현, 최숙영, 양찬호 (2018). (고등학교) 화학 I. 서울:천재교육.
- 노태희, 전경문, 한인옥, 김창민 (1996). 학생의 인지발달 수준과 문제의 상황에 따른 화학 문제해결 행동 비교. 한국과학교육학회지, 16(4), 389-400.
- 류혜주, 박현우 (2017). '우리 몸' 단원에 대한 증강현실 교육콘텐츠의 제작과 적용. 초등과학교육, 36(4), 367-378.
- 박승배 (2009). 질적연구와 양적연구의 혼합 논리로서 프래그머티즘과 교육학 연구방법에 대한 듀이의 입장 고찰. 교육과정연구, 27(2), 63-81.
- 박재근 (2017). 2015 개정 초등 과학과 교육과정의 성취 기준과 탐구 활동 변화 분석. 초등과학교육, 36(1), 43-60.
- 박종석, 정경민 (2010). 고등학교 화학 I 교과서 실험에 제시된 삽화와 삽화 속 '옥에 티' 분석. 한국과학교육학회지, 30(2), 181-191.

- 박태정 (2015). 이러닝 환경에서의 감성적 어포던스 설계원리 개발. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 박현주 (2013). 중학교 과학교사의 실험수업 실태 및 인식 조사. 과학교육연구 지. 37(1), 79-86.
- 배주현, 손원숙 (2018). 학생이 지각한 수업환경, 수업 및 평가실제와 정의적 성취와의 관계: PISA 2015 과학 자료. 교육과정평가연구, 21(3), 131-154.
- 서예원 (2007). 과학의 본질과 과학교육에 관한 구성주의적 관점. 교육과학연구, 38(2), 267-289.
- 신영준, 진만식, 한문정, 이기영, 정은영, 강진철, 강석진, 손정우, 배영혜, 이봉우, 임희연, 하은선 (2013). 중학교 과학 2 : [2009 개정 교육과정]. 서울: 천재교육.
- 심승환 (2007). 프래그머티즘의 시각에서 본 배움의 의미. 교육문제연구, 28, 49-81.
- 심재권 (2018). SW교육을 위한 교사의 ICT 리터러시와 프로그래밍 능력 수준 측정. 정보처리학회논문지. 컴퓨터 및 통신시스템, 7(4), 91-98.
- 양일호, 정진우, 김영신, 김민경, 조현준 (2006). 중등학교 과학 실험 수업에 대한 실험 목적, 상호 작용, 탐구 과정의 분석. 한국지구과학회지, 27(5), 509-520.
- 오정근, 강궁원 (2016). 중력과 검출 실험의 역사. 새물리, 66(3), 264-271.
- 윤혜진 (2018). 디자인사고 기반 메이커교육 모형 개발. 경희대학교 대학원 박사학위 논문.
- 윤희정, 이윤하 (2014). 중학생들의 전해질과 이온에 관련된 입자 개념 표현의 일관성 분석. 대한화학회지, 58(6), 580-589.
- 이영미, 강명희, 윤성혜, 박주연 (2016). 스마트패드를 활용한 초등학교 스마트 교육에서 21세기 핵심역량을 예측하는 변인 분석. 초등교육연구, 29(4), 201-226.
- 이은주, 강순희 (2012). 탐구 기능의 직접적 수업을 위한 탐구 기능 하위 요소 추출. 한국과학교육학회지, 32(2), 236-261.
- 이지수, 심현애, 김경연, 이강성 (2010). 증강현실 기반 학습프로그램이 학습동

- 기 및 학업성취도에 미치는 영향: Keller 의 동기설계 모형을 적용한 초등 과학 학습프로그램의 개발 및 적용. 교육의 이론과 실천, 15(1), 99-121.
- 이진경, 이창윤, 박철규, 신소연, 전영은, 홍훈기 (2018). 2015 개정 교육과정의 통합과학과 과학탐구실험 성취기준 분석. 학습자중심교과교육연구, 18(14), 227-252.
- 이창윤 (2015). 강의식 수업에서 탐구활동 스마트 앱의 효과. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- 이창윤, 박철규, 유수형, 홍훈기 (2019b). 자유학기제에서 중등 과학교사의 플립 러닝 실행에 대한 문화역사적 활동이론 측면에서의 이해. 학습자중심교과교육연구, 19(5), 823-854.
- 이창윤, 박철규, 홍훈기 (2018). Flash와 Actionscript 3.0을 이용한 과학 시뮬레이션 앱의 디자인 및 효과-중학교 과학 ‘물질의 구성’ 단원을 중심으로. 한국과학교육학회지, 38(4), 527-539.
- 이창윤, 박철규, 홍훈기 (2019a). 중등 과학교육에서 증강현실의 활용 및 발전방안 탐색. 학습자중심교과교육연구, 19(2), 265-292.
- 이창윤, 조영환, 홍훈기 (2015). 감성측정 테크놀로지의 교육적 활용방안 탐색. 한국콘텐츠학회논문지, 15(8), 625-641.
- 이창윤, 홍훈기 (2017). 앙금생성반응의 실제적 관찰을 지원하는 과학 시뮬레이션 개발. 현장과학교육, 11(2), 236-245.
- 이창윤, 홍훈기 (2018). 메이커 활동에 기반을 둔 화학 탐구 R&E 프로그램의 사례연구. 학습자중심교과교육연구, 18(18), 131-154.
- 이태수, 이동원 (2015). 증강현실 기반 중재와 개념적 의미지도가 정인지체 학생의 과학과 학습과 흥미도에 미치는 효과. 학습자중심교과교육연구, 15(4), 421-441.
- 이효녕, 여채영 (2015). 과학과 교육과정의 연계성 국제 비교: 광합성 개념 중심으로. 한국과학교육학회지, 35(5), 805-815.
- 정연화, 이정민 (2015). 증강현실 활용 탐구학습의 효과성분석: 중등과학수업을 중심으로. 교육정보미디어연구, 21(4), 521-542.
- 정영란, 이정민 (2010). 학습자 중심 수업이 중학생들의 과학성취도와 과학에 대

- 한 태도에 미치는 영향. 과학교육연구지, 34(2), 193-202.
- 조용환 (1999). 질적 연구 : 방법과 사례. 파주:교육과학사.
- 조현수, 강대훈, 강태욱, 김민수, 김연귀, 김희수, 문태주, 이용철, 이정은, 조영우 (2012). (고등학교) 과학. 서울:천재교육.
- 조혜숙, 남정희, 오필석 (2017). 과학교육에서 모델 및 모델링에 대한 고찰-메타 모델링 지식을 중심으로. 한국과학교육학회지, 37(2), 239-252.
- 조희형, 김희경, 윤희숙, 이기영 (2014). 과학교육론 (4판). 파주:교육과학사.
- 조희형, 최경희 (2002). 구성주의와 과학교육. 한국과학교육학회지, 22(4), 820-836.
- 한유화, 전은선, 백성혜 (2014). 중학교 과학교과서, 교사의 인식 및 실험 수업 사례에서 나타난 과학적 탐구 요소 분석. 한국과학교육학회지, 34(4), 349-357.
- 홍은정 (2013). 플래시 CS6 무작정 따라하기. 서울:길벗출판사.
- 황윤자 (2013). 어포던스 이론 기반의 모바일 증강현실 교육시스템 설계 가이드 라인 및 프로토타입 개발 연구. 한양대학교 대학원 박사학위 논문.
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- Akçayir, M., Akçayir, G., Pektaş, H. M., & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, 57, 334-342.
- Ardito, C., Costabile, M. F., De Marsico, M., Lanzilotti, R., Levialdi, S., Roselli, T., & Rossano, V. (2006). An approach to usability evaluation of e-learning applications. *Universal access in the information society*, 4(3), 270-283.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385.

- Balamuralithara, B., & Woods, P. C. (2009). Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*, 17(1), 108-118.
- Bevins, S., & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, 38(1), 17-29.
- Blackmore, S. (2000). The meme machine. Great Britain: Oxford.
- Blake, C. & Scanlon, E. (2007). Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(6), 491-502.
- Casas, L., & Estop, E. (2015). Virtual and printed 3D models for teaching crystal symmetry and point groups. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1338-1343.
- Chang, H. Y., Hsu, Y. S., Wu, H. K., & Tsai, C. C. (2018). Students' development of socio-scientific reasoning in a mobile augmented reality learning environment. *International Journal of Science Education*, 40(12), 1-22.
- Chang, S. C. & Hwang, G. J. (2018). Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions. *Computers & Education*, 125, 226-239.
- Chen, C. H., Chou, Y. Y., & Huang, C. Y. (2016). An augmented-reality-based concept map to support mobile learning for science. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 25(4), 567-578.
- Chen, S., Chang, W. H., Lai, C. H., & Tsai, C. Y. (2014). A comparison of students' approaches to inquiry, conceptual learning, and attitudes in simulation-based and microcomputer-based laboratories. *Science Education*, 98(5), 905-935.

- Chen, Y. C., Chi, H. L., Hung, W. H., & Kang, S. C. (2011). Use of tangible and augmented reality models in engineering graphics courses. *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 137(4), 267-276.
- Chi, M. T., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219-243.
- Chiang, T. H. C., Yang, S. J., & Hwang, G. J. (2014a). An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities. *Educational Technology & Society*, 17(4), 352-365.
- Chiang, T. H., Yang, S. J., & Hwang, G. J. (2014b). Students' online interactive patterns in augmented reality-based inquiry activities. *Computers & Education*, 78, 97-108.
- Chiu, J. L., DeJaegher, C. J., & Chao, J. (2015). The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. *Computers & Education*, 85, 59-73.
- Chiu, T. K. & Churchill, D. (2015). Exploring the characteristics of an optimal design of digital materials for concept learning in mathematics: Multimedia learning and variation theory. *Computers & Education*, 82, 280-291.
- Cober, R., Tan, E., Slotta, J., So, H. J., & Könings, K. D. (2015). Teachers as participatory designers: Two case studies with technology-enhanced learning environments. *Instructional Science*, 43(2), 203-228.
- Cole, M., & Engeström, Y. (1993). A cultural-historical approach to distributed cognition. In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognitions: Psychological and educational considerations* (pp., 1-46). Ehrhardt: Cambridge University Press.

- Creswell, J. W. & Plano Clark, V. L. (2017). Designing and conducting mixed methods research. Sage publications.
- Creswell, J. W. (2012). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches*. London: SAGE Publications.
- Cuendet, S., Bonnard, Q., Do-Lenh, S., & Dillenbourg, P. (2013). Designing augmented reality for the classroom. *Computers & Education*, 68, 557-569.
- Davids, M. R., Chikte, U. M., & Halperin, M. L. (2011). Development and evaluation of a multimedia e-learning resource for electrolyte and acid-base disorders. *Advances in Physiology Education*, 35(3), 295-306.
- de Jong, T. (2006). Technological advances in inquiry learning. *Science*, 312(5773), 532-533.
- de Jong, T. (2011). Instruction based on computer simulations. In R. E. Mayer, & P. A. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (pp. 446-466). Abingdon (Ox): Routledge.
- de Jong, T. (2019). Moving towards engaged learning in STEM domains: there is no simple answer, but clearly a road ahead. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(2), 153-167.
- Dewey, J. (1997). *Experience and education*. NY : A Touchstone Book.
- Edelson, D. C. (2001). Learning-for-use: A framework for the design of technology-supported inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 355-385.
- Engeström, Y. (1999). Activity theory and individual and social transformation. In Y. Engeström, R. Miettinen & R. L. Punamäke (Eds.), *Perspectives on activity theory* (pp. 19-38). Cambridge: Cambridge University Press.
- Enyedy, N., Danish, J. A., Delacruz, G., & Kumar, M. (2012). Learning

- physics through play in an augmented reality environment. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 7(3), 347-378.
- Eryilmaz, E., Chiu, M. M., Thoms, B., Mary, J., & Kim, R. (2014). Design and evaluation of instructor-based and peer-oriented attention guidance functionalities in an open source anchored discussion system. *Computers & Education*, 71, 303-321.
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: Learning in introductory physics laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54-98.
- Gibson, E. J., & Pick, A. D. (2000). *An ecological approach to perceptual learning and development*. USA: Oxford University Press.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. NY:Psychology Press.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In *Visualization in science education* (pp. 9-27). Springer, Dordrecht.
- Gillet, A., Sanner, M., Stoffler, D., & Olson, A. (2005). Tangible interfaces for structural molecular biology. *Structure*, 13(3), 483-491.
- Grant, J. S. & Davis, L. L. (1997). Selection and use of content experts for instrument development. *Research in Nursing & Health*, 20(3), 269-274.

- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Hartson, R. (2003). Cognitive, physical, sensory, and functional affordances in interaction design. *Behaviour & Information Technology*, 22(5), 315-338.
- Higman, C. S., Situ, H., Blacklin, P., & Hein, J. E. (2017). Hands-on data analysis: using 3D printing to visualize reaction progress surfaces. *Journal of Chemical Education*, 94(9), 1367-1371.
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Putting education in “educational” apps lessons from the science of learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3-34.
- Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and instruction*, 17(6), 722-738.
- Hsiao, K. F., Chen, N. S., & Huang, S. Y. (2012). Learning while exercising for science education in augmented reality among adolescents. *Interactive Learning Environments*, 20(4), 331-349.
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1-13.
- Ibáñez, M. B., Di-Serio, A., Villaran-Molina, D., & Delgado-Kloos, C. (2016). Support for augmented reality simulation systems: the effects of scaffolding on learning outcomes and behavior patterns. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 9(1), 46-56.
- Inan, H. Z., & Inan, T. (2015). 3Hs Education: Examining hands-on, heads-on and hearts-on early childhood science education. *International Journal of Science Education*, 37(12), 1974-1991.

- Jin, S. H. (2013). Visual design guidelines for improving learning from dynamic and interactive digital text. *Computers & Education*, 63, 248-258.
- Johnson, D., & Wiles, J. (2003). Effective affective user interface design in games. *Ergonomics*, 46(13-14), 1332-1345.
- Jonassen, D. H. (2010). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. Routledge.
- Jones, O. A., & Spencer, M. J. (2017). A simplified method for the 3D printing of molecular models for chemical education. *Journal of Chemical Education*, 95(1), 88-96.
- Kapur, M. (2010). Productive failure in mathematical problem solving. *Instructional Science*, 38(6), 523-550.
- Kapur, M. (2008). Productive failure. *Cognition and instruction*, 26(3), 379-424.
- Kim, M. S., & Ye, X. (2015). Authentic Learning Experiences in Informal Science Learning: A Case Study of Singapore's Prospective Teachers. In Cho, Y. H., Caleon, I. S., & Kapur, M. (Eds), *Authentic Problem Solving and Learning in the 21st Century* (pp. 285-305). Springer, Singapore.
- Klein, J., Moon, Y., & Picard, R. W. (2002). This computer responds to user frustration: Theory, design, and results. *Interacting with Computers*, 14(2), 119-140.
- Könings, K. D., Brand-Gruwel, S., & Van Merriënboer, J. J. (2005). Towards more powerful learning environments through combining the perspectives of designers, teachers, and students. *British Journal of Educational Psychology*, 75(4), 645-660.
- Könings, K. D., Seidel, T., & van Merriënboer, J. J. (2014). Participatory design of learning environments: integrating perspectives of students, teachers, and designers. *Instructional*

- Science*, 42(1), 1-9.
- Könings, K. D., van Zundert, M. J., Brand-Gruwel, S., & van Merriënboer, J. J. (2007). Participatory design in secondary education: Is it a good idea? Students' and teachers' opinions on its desirability and feasibility. *Educational Studies*, 33(4), 445-465.
- Kort, B., Reilly, R., & Picard, R. W. (2001). An affective model of interplay between emotions and learning: Reengineering educational pedagogy-building a learning companion. In *Proceedings IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 43-46). Madison, WI. USA.
- Küçüközer, H. (2008). The effects of 3D computer modelling on conceptual change about seasons and phases of the moon. *Physics Education*, 43(6), 632-636.
- Lai, C. H., Yang, J. C., Chen, F. C., Ho, C. W., & Chan, T. W. (2007). Affordances of mobile technologies for experiential learning: the interplay of technology and pedagogical practices. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(4), 326-337.
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry* (Vol. 75). London: Sage publications.
- Lindgren, R. & Schwartz, D. L. (2009). Spatial learning and computer simulations in science. *International Journal of Science Education*, 31(3), 419-438.
- Liou, H. H., Yang, S. J., Chen, S. Y., & Tarng, W. (2017). The influences of the 2d image-based augmented reality and virtual reality on student learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 20(3), 110-121.
- Liu, H. C., Andre, T., & Greenbowe, T. (2008). The impact of learner's prior knowledge on their use of chemistry computer simulations: A case study. *Journal of Science Education and Technology*, 17(5), 466-482.

- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational psychologist*, 38(1), 43-52.
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Moreno, R. & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309-326.
- NRC(National Research Council). (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school (Expanded edition)*. Washington, DC: National Academies Press.
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic books.
- Norris, S. P. (1985). The philosophical basis of observation in science and science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(9), 817-833.
- Peirce, C. S. (1878). How to make our ideas clear. *Popular Science Monthly*, 12, 286-302. (retrieved from <http://www.peirce.org/writings/p119.html>)
- Penny, M. R., Cao, Z. J., Patel, B., Sil dos Santos, B., Asquith, C. R., Szulc, B. R., Rao, Z. X., Muwaffak, Z., Malkinson, J. P., & Hilton, S. T. (2017). Three-dimensional printing of a scalable molecular model and orbital kit for organic chemistry teaching and learning. *Journal of Chemical Education*, 94(9), 1265-1271.
- Perkins, D. N. (1997). Person-plus: A distributed view of thinking and learning In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognitions: Psychological and educational considerations* (pp. 88-110). Ehrhardt: Cambridge University Press.
- Plass, J. L., Homer, B. D., & Hayward, E. O. (2009). Design factors for educationally effective animations and simulations. *Journal of*

Computing in Higher Education, 21(1), 31-61.

- Plass, J. L., Milne, C., Homer, B. D., Schwartz, R. N., Hayward, E. O., Jordan, T., Verkuilen, J., Ng, F., Wang, Y., & Barrientos, J. (2012). Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(3), 394-419.
- Prins, G. T., Bulte, A. M., & Pilot, A. (2016). An activity-based instructional framework for transforming authentic modeling practices into meaningful contexts for learning in science education. *Science Education*, 100(6), 1092-1123.
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D., & Soloway, E. (2009). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337-386.
- Rubio, D. M., Berg-Weger, M., Tebb, S. S., Lee, E. S., & Rauch, S. (2003). Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research. *Social Work Research*, 27(2), 94-104.
- Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.
- Salmi, H., Thuneberg, H., & Vainikainen, M. P. (2017). Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *International Journal of Science Education*, Part B, 7(3), 253-268.
- Salomon, G. (Ed.) (1997). *Distributed cognitions: Psychological and educational considerations*. Ehrhardt: Cambridge University Press.
- Schmalstieg, D. & Hollerer, T. (2016). *Augmented reality: principles and practice*. Boston: Addison-Wesley Professional.

- Schuler, D., & Namioka, A. (Eds.). (1993). *Participatory design: Principles and practices*. CRC Press.
- Schutz, P. A. & Pekrun, R. E. (2007). *Emotion in education*. Boston: Elsevier Academic Press.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645.
- Smetana, L. K. & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370.
- Strauss, A. & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: Technique and procedures for developing grounded theory*. CA: Sage publications.
- Trundle, K. C., & Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. *Computers & Education*, 54(4), 1078-1088.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: Are they suitable for secondary students?. *Chemistry Education Research and Practice*, 3(2), 129-144.
- Um, E., Plass, J. L., Hayward, E. O., & Homer, B. D. (2012). Emotional design in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 104(2), 485.
- Van Joolingen, W. R., de Jong, T., & Dimitrakopoulou, A. (2007). Issues in computer supported inquiry learning in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 111-119.
- Webb, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: implications for an integrated pedagogy. *International Journal of*

- Science Education*, 27(6), 705-735.
- WEF(World Economic Forum). (2016). New Vision for Education: Fostering Social and Emotional Learning Through Technology.
- Wong, L. H., Milrad, M., & Specht, M. (Eds.) (2015). *Seamless learning in the age of mobile connectivity*. Singapore: Springer.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods (applied social research methods)*. CA: Sage publications.
- Yoon, S. A., Elinich, K., Wang, J., Steinmeier, C., & Tucker, S. (2012). Using augmented reality and knowledge-building scaffolds to improve learning in a science museum. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 7(4), 519-541.
- Zacharia, Z. (2003). Beliefs, attitudes, and intentions of science teachers regarding the educational use of computer simulations and inquiry-based experiments in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(8), 792-823.

Abstract

A Case Study on Development of Science Simulations for Authentic Observation and Authentic Manipulation

Chang Youn LEE

Department of Science Education, Major in Chemistry

The Graduate School

Seoul National University

The purpose of this paper is to investigate design characteristics of science simulation that provides students with learning experience of observation and manipulation. To this end, we paid attention to two kinds of science simulation development cases which support the observation and manipulation experience respectively by placing the proposed design as a unit of analysis as case study methods. In the first development case, we discussed the design characteristics of the science simulation that provide the observation experience as an element to be emphasized in the science inquiry experiment through the development and evaluation of the science simulation related to the 'Precipitation Experiment'. In detail, design requirements for the science simulation that can provide students with a better observation experience were suggested by (1) introducing video clips related to experimental results through mask function, (2) using the interactive information presentation method, which is known as advantage of existing science simulation, and (3) partially inheriting the simplified model expression method. In the second development case, design characteristics of the science simulation which provide

manipulative experiences that help learn about scientific concepts and scientific models in the context of secondary science education were discussed through the development and evaluation of scientific simulation on the 'Electron Configuration'. Specifically, design requirements to provide students with a better manipulation experience were suggested by introducing (1) 3D printing-based tangible model, and (2) the Augmented Reality technology of 'Model-Target' in the development process. As such, this paper postulated the design characteristics of the science simulations as educational affordances on 'Authentic Observation' and 'Authentic Manipulation' by inducing the design requirements of the scientific simulation that provide learners with better observation and manipulation experience. Such suggestions for design characteristics are meaningful, in that they are new prescriptions searching for the solution by directly approaching the problem of secondary science education in Korea although they are a kind of speculative hypotheses with the weak confirmation. Moreover, this paper may be able to contribute to the research about science education and educational technology as cases of expanding the value of educational use of augmented reality technology and 3D printing technology, which increasingly attract people's attention in realizing the learning environment for understanding scientific concepts and scientific models.

keywords : science simulation, authentic observation, authentic manipulation, augmented reality, secondary school science

Student Number : 2015-31136